



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – ME141501

**MODIFIKASI SISTEM PENGATURAN UDARA DENGAN
MENGUNAKAN *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* PADA
RUANG AKOMODASI KAPAL PERTAMINA**

Christopher Jonatan Butar - Butar
NRP 04211440000121

Dosen Pembimbing
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197510062002121003

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI - ME 141501

**MODIFIKASI SISTEM PENGATURAN UDARA DENGAN
MENGUNAKAN *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* PADA
RUANG AKOMODASI KAPAL PERTAMINA**

Christopher Jonatan Butar - Butar
NRP 0421144000021

Dosen Pembimbing
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197510062002121003

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SKRIPSI - ME 141501

Modification of Air Conditioning System with Phase Change Material (PCM) in Accomodation Room of Pertamina Ship

Christopher Jonatan Butar - Butar
NRP 04211440000121

Supervisors
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197510062002121003

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI SISTEM PENGATURAN UDARA DENGAN MENGGUNAKAN *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* PADA RUANG AKOMODASI KAPAL PERTAMINA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Fluid Machinery and System (MMS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Christopher Jonatan Butar Butar
NRP. 04211440000121

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197510062002121003



**SURABAYA
JULI, 2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI SISTEM PENGATURAN UDARA DENGAN MENGGUNAKAN *PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)* PADA RUANG AKOMODASI KAPAL PERTAMINA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Fluid Machinery and System (MMS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Christopher Jonatan Butar Butar
NRP. 04211440000121

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Modifikasi Sistem Pengaturan Udara Dengan Menggunakan *Phase Change Material (PCM)* Pada Ruang Akomodasi Kapal Pertamina

Nama Mahasiswa : Christopher Jonatan Butar - Butar
NRP : 04211440000121
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing 1 : Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D

Abstrak

Selama ini sistem pengaturan udara untuk ruang akomodasi di kapal memakan daya listrik yang tidak sedikit. Untuk itu diperlukan inovasi dalam rangka mengurangi konsumsi daya listrik pada sistem pengaturan udara tersebut. Perancangan ini bertujuan untuk mengetahui konsumsi daya listrik serta kinerja air conditioner dengan penggunaan *phase change material*. Selain itu, perancangan ini juga bertujuan untuk mengetahui analisis ekonomi penggunaan *phase change material* pada sistem pengaturan udara. Perancangan ini menggunakan *phase change material* untuk mengurangi konsumsi daya listrik. *Phase change material* yang memiliki kalor laten dapat dimanfaatkan untuk mendinginkan udara. Pemilihan *phase change material* menjadi hal yang penting untuk menentukan penghematan yang dapat dilakukan dengan memasang *phase change material* pada sistem pendingin udara. Untuk analisis ekonomi, menggunakan analisis kelayakan investasi. Dari hasil perancangan, *phase change material* yang dipilih adalah *Rubitherm RT – 25* karena menghemat konsumsi daya listrik lebih besar dibanding *phase change material* yang lain. *Phase change material* tersebut akan dimanfaatkan selama 8 jam. Berdasarkan perancangan tersebut, diketahui penghematan yang dilakukan dengan pemanfaatan *phase change material* adalah sebesar 149 kW/hari. Dengan penghematan sebesar 149 kW/hari, dapat menghemat sebesar Rp 272,217.27 /hari.

Kata kunci : , penghematan energi, , *phase change material*, sistem pendingin udara

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Modification of Air Conditioning System with Phase Change Material (PCM) in Accommodation Room of Pertamina Ship

Name of Student : Christopher Jonatan Butar - Butar
NRP : 04211440000121
Department : Marine Engineering
Supervisor 1 : Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D

Abstract

For years, ship's cooling system has took plenty of electrical energy consumption. indeed, to reduce electrical power consumption, some inovation will be needed. This design aims to know more about the electrical consumption and air conditioner performance using phase change material. Futhermore, this design aims to know economical analysis using phase change material on air conditioning system. This design using phase change material to reduce electrical power consumption. Phase change material has latent heat can be used for cool the air. Phase change material selection is important to define energy saving that can be done by installing phase change material on air conditioning system. The economical analysis calculated by using investment feasibility analysis. The selected phase change material from design is Rubitherm RT-25. Phase change material is selected because of the bigger saving of electrical power consumption than other phase change material. That phase change material will be used for 8 hours. Based on that design, by using phase change material it will save 149 kW/day. By 149 kW saving per day, it would save Rp 272,217.27/day

Keywords : *Air cooling system, energy saving, phase change material*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur Tuhan Yesus Kristus karena atas karuniaNya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Modifikasi Sistem Pengaturan Udara Dengan Menggunakan Phase Change Material (PCM) Pada Ruang Akomodasi Kapal Pertamina** dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Melalui kata pengantar ini, penulis ingin menyampaikan berbagai ucapan terima kasih tidak hanya kepada setiap orang yang membantuk penyelesaian tugas akhir ini, namun kepada setiap orang yang berjasa dalam perkembangan diri penulis di masa kuliah.

Kepada kedua orang tua penulis, Bapak Azir Butar Butar dan Ibu Rosmauli Sitompul, terima kasih karena kasih sayang yang terkira selama 22 tahun penulis hidup. Dukungan yang tidak terkira dari awal semua ini bermula sangat berarti bagi penulis. Semenjak gagal di SNMPTN, SBMPTN, berbagai ujian mandiri, hingga akhirnya diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pilihan kedua melalui jalur mandiri. Uang SPI yang begitu besar dan rela dijadikan beban oleh orang tua menjadikan rasa syukur yang luar biasa setiap kali dikenang oleh penulis. Tangisan pun menjadi senyum. Uang yang begitu besar tersebut tidak sia-sia dan penulis mendapatkan wadah berkembang yang luar biasa. Kekurangan penulis sebagai manusi yang keras kepala kerap kali menjadi problema bagi keluarga. Hidup merantau selama empat tahun menjadikan penulis pribadi yang lebih dewasa dan mengerti keadaan keluarga. Di masa kuliah ini pun penulis merasa semakin mengerti pikiran dan kondisi kedua orang tua. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada kedua orangtua. Kasih sayang yang begitu besar tak akan mampu penulis balas. Penulis juga tak akan mampu menunjukan rasa sayang tersebut. Semoga berkat selalu melimpah berlipat-lipat dan dibalas oleh Tuhan. Semoga panjang umur dan sehat selalu.

Kepada dosen Teknik Sistem Perkapalan, terima kasih banyak telah mengajar penulis. Telah banyak yang diajarkan. Namun, penulis memiliki penilaian tersendiri terkait masih kurang maksimalnya proses belajar mengajar di jurusan ini. Kepada Bapak Trika, terima kasih telah menjadi dosen wali yang membimbing selama empat tahun di teknik sistem perkapalan. Kepada Bapak Indrajaaya, terima kasih telah banyak memberikan pelajaran. Harus mengulang desain 3 merupakan sesuatu yang harus di iklaskan. Namun, penulis percaya tidak sepantasnya pendidikan mengutamakan amarah. Pendidikan dialogis dan dialektis lah yang sepatutnta diterapkan. Masih banyak kekurangan di jurusan teknik sistem perkapalan. Kualitas lulusan yang kurang berkompeten tentunya tidak bisa sepenuhnya disalahkan kepada mahasiswa. Dosen pun patut menjadi perhatian. Terlalu sedikitnya jumlah dosen dan kurangnya kualitas mengajar yang baik menjadi dua dari penyebab yang patut dicari tahu bersama. Kepada Bapak Sutopo, terima kasih telah menjadi dosen pembimbing skripsi yang baik. Terima kasih telah menjawab kebingungan-kebingungan yang penulis rasakan ketika mengerjakan skripsi ini. Penulis tak mampu membalas kebaikan dari Bapak.

Kepada setiap dosen teknik sistem perkapalan, tendik, dan karyawan, semoga diberikan panjang umur dan rejeki yang melimpah atas kebaikan yang diberikan.

Kepada Mercusuar 2014 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih telah menjadi tempat untuk bernaung. Terima kasih karena menjadi teman yang baik semenjak awal kumpul. Semoga pertemanan kita berlanjut sampai hari tua.

Kepada pengurus Kabinet Reformer Himasiskal FTK ITS, terima kasih telah menyediakan wadah untuk berkembang di tahun pertama. Setiap pelajaran dan ilmu yang diberikan sangat berarti. Walaupun penulis menilai terdapat kekurangan dalam kaderisasi Himasiskal, namun penulis percaya kaderisasi sangat dibutuhkan sebagai wadah pengembangan diri dan beradaptasi dari masa sekolah menuju masa perkuliahan.

Kepada mas Oxi, mba Endah, mas Didit, mas Rahman, mba Wulan, mas Teja, Mas Dimas, serta mba Syarah. Terima kasih banyak telah membimbing penulis di tahun kedua. Ilmu-ilmu yang diberikan di Kebijakan Publik BEM ITS, menjadikan penulis pribadi yang lebih baik. Terkhusus mas Oxi, terima kasih banyak atas setiap dialog di tiap malamnya. Transfer ilmu dalam bentuk dialogis sangat efektif untuk ilmu berpikir kritis. Penulis pun mengerti agar memandang persoalan secara holistik seperti yang anda ajarkan. Kepada Konci (Rizki), Akbor (Akbar), Arief, Azkiya, Bories, Bunga, Ojan (Fauzan), Haekal, Idham, Ridho, Icod (Ikhwan), Syaughy, Yona, dan Abyan terima kasih banyak telah menjadi teman berdiskusi di Bem ITS. Orang-orang hebat ini akan selalu penulis kenang. Dapat mengenal mereka merupakan hal yang patut untuk disyukuri.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Kabinet Mahakarya Himasiskal atas kesempatannya belajar berorganisasi. Penulis memohon maaf sebesar-besarnya atas konflik yang terjadi. Semata-mata penulis merasa sebuah kebenaran yang harus diperjuangkan. Kepada mas Kevin, mas Aziz, mas Edo, mas Yugo terima kasih banyak atas kesempatan belajar yang diberikan di PSDM Himasiskal. Seringkali penulis keras kepala dan mengkritik banyak hal. Itu semata-mata hanya karena penulis merasa ada sesuatu yang salah dan ingin diperbaiki. Untuk Vianto, Azka, Jujui (Noor Fazrur), Jaysul (Alif), serta Zela (Rayzeela) terima kasih banyak telah menjadi teman berkembang bersama.

Kepada Kabinet Himasiskal Asik; Afif, Azizah, Salsa, Firman, Dinar, Sulfia, Rayka, Barok, Isom, Syauqi, Salvin, Abyan, Kemas, Rizal, Arif, Naufal, Joel, Ngurah Bagus, Aziz, serta Rivaldi terima kasih telah berjuang bersama selama 1,5 tahun kepengurusan. Berbagai konflik dan drama membuat kabinet himasiskal asik semakin rekat. Terima kasih atas cerita yang ditutup dengan indah, amandemen Anggaran Dasar Anggaran Rumah Tangga Himasiskal FTK ITS (AD/ART). PR yang tidak terselesaikan selama 4 tahun kepengurusan himasiskal. Kepengurusan kita memang memiliki banyak kekurangan. Namun, sudah banyak yang telah dilakukan. Penulis pun menilai kepengurusan ini sangat progresif. Terima kasih telah banyak mengajarkan penulis tentang menjadi manusia.

Kepada Yose serta Rayzeela, terima kasih telah banyak membantu di Gardapana. Tanpa bantuan kalian, penulis tak akan mampu menyelesaikan 1 periode kepengurusan dengan baik. Mohon maaf atas segala kekurangan yang penulis lakukan baik sengaja maupun tidak sengaja. Kalian tak hanya penulis anggap sebagai teman. Segala pencapaian di Gardapana Himasiskal Asik tercipta karena campur tangan kalian.

Kepada Billal, Anya, Bagas, Sandy, serta Gea. Terima kasih banyak telah sedia menjadi staf Gardapana. Mohon maaf belum mampu menjadi kakak yang baik. Terimakasih atas kontribusi yang dilakukan sehingga Gardapana dapat memiliki pencapaian seperti sekarang. Mengemban amanah di Gardapana merupakan pengalaman yang luar biasa. Terlalu banyak pelajaran yang penulis dapatkan. Komunikasi, koordinasi, sosialisasi dan berbagai pelajaran lainnya membuat penulis semakin menjadi manusia.

Kepada anggota studi literasi yang bertahan sampai akhir; agung, bagas, baihaqi, dhundux, dodi, karom, andhika, madina, ramadhian, shasha, dan wishnu. Mohon maaf belum dapat menjadi kakak yang sempurna. Hanya sedikit yang penulis dapat bagikan. Terimakasih banyak karena sudah memberikan penulis kesempatan untuk berbagi kepedulian. Semoga sukses disetiap pilihan jalan kalian.

Untuk perumdol holiday; alif, anas, benjamin, daniel, cide, fatiya, galih, gara, gilang, kukuh, iqbal, kemas, salvin, mego, palep, azka, nicho, tio, koko, rayka, iji, ilham, eky, sekar, yose. Semenjak pertama kali menginjakan kaki disurabaya, mungkin kalian teman yang selalu ada sampai di tahun terakhir. Berbagai konflik dan problema menghiasi pertemanan. Berbagai tempat yang telah disinggahi pun menjadi kenangan tersendiri. Terima kasih untuk setiap perjalanan dan pertemanan selama empat tahun. Semoga pertemanan kita bertahan sampe akhir hayat. Semoga berhasil di setiap fase kehidupan dan keberuntungan selalu menyertai kalian.

Untuk setiap warung kopi yang menjadi tempat bercengkrama; krewool, surya, 3 iji, serta berbagai warkop lainnya. Special thanks untuk zendi dan agus yang menjadi tempat yang cukup lama perumhol bernaung. Tanpa seduhan kopi dan teh kalian, malam di surabaya terasa kurang sempurna.

Ucapan terima kasih terakhir kepada yang selalu menghiasi hari, Dian Perdana Sopamena. Engkau yang menemani dari awal duka yang beralih menjadi suka. Ditolak di kampus idaman, gagal di berbagai seleksi, hingga akhirnya diterima di pilihan kedua ujian mandiri ITS, teknik sistem perkapalan. Berkenalan denganmu menjadi anugerah tersendiri. Meskipun jarak memisahkan, namun kasih selalu menyatukan. Berbagai kegiatan yang penulis ikuti selalu di dukung. Walaupun terkadang pertengkaran terjadi, namun tak ada rasa sesal sedikitpun berada di sisi. Hingga penulis berada di persimpangan jalan untuk lulus atau memperpanjang masa pengabdian, engkaulah yang menjadi teman berdiskusi. Terima kasih telah mengerti jalan pengabdian penulis. Keputusan penulis untuk menunda kelulusan pun dapat dipahami dengan baik olehmu. Hingga di tahun keempat bersama ini, mungkin hanya kamu yang mengetahui setiap dosa-dosa masa lalu penulis. Apabila di ujung jalan nanti kita ditakdirkan tidak bersama, penulis tidak akan menyesali menulis nama ini di kata pengantar. Buku ini adalah kenangan. Setiap kenangan pantas untuk di ingat. Setiap memori pantas untuk di lestarikan. Kisah ini pun salah satunya. Terima kasih untuk setiap waktu, pengertian, dan kasih yang diberikan hingga penulis dapat berkembang begitu pesat di masa kuliah ini. Jika diingat kembali, perkembangan pribadi penulis dari masa sekolah ke masa kuliah terdapat andil yang besar dari nama tersebut. Semoga kita selalu bersama sampai akhir. Jika pun tidak, semoga kamu diberikan kebahagiaan sampai akhir hayat.

Surabaya sebagai kota yang tak diinginkan, menjadi kenangan yang luar biasa. Empat tahun berdiam di kota ini, tumbuh dewasa dan mandiri menjadi memori indah yang sulit dilupakan. Terima kasih untuk setiap malamnya. Terima kasih telah menjadi suatu kisah yang indah untuk di kenang. Walaupun terik terasa, namun berubah menjadi hangat karena cerita-cerita perjuangan. Kampus ITS sebagai kampus perjuangan memang menyajikan perjuangan bagi setiap insannya. Surabaya akan selalu penulis kenang. Terima kasih.

Di ujung bagian yang panjang ini, penulis ingin menyampaikan betapa bersyukur penulis ditempatkan di ITS. Sebuah tempat yang luar biasa untuk berkembang, mengembangkan nalar kritis, dan menumbuhkan kesadaran. Rencana hidup penulis pun mulai tumbuh di kampus ini. Penulis ingin diri di masa depan membaca kembali secercah bagian yang berisi perjuangan, kisah, dan cinta di masa kuliah. Terima kasih untuk empat tahun yang indah. Semoga kisah-kisah selanjutnya semakin mempesona.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
Abstrak	ix
Abstract	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat	3
BAB II	5
2.1. Definisi Sistem Refrigerasi	5
2.2. Proses Sistem Refrigerasi	6
2.3. Komponen-Komponen pada Sistem Refrigerasi.....	8
2.4. Penggunaan Phase Change Material di Thailand.....	13
2.5. Perhitungan Kebutuhan Awal	16
2.6. Perhitungan Massa Phase Change Material	20
2.7. Perhitungan Daya di Evaporator	20
2.8. Perhitungan Waktu Pendinginan Ruangan Sistem Exisitng	21
2.9. Perhitungan Waktu Pendinginan Ruangan dan PCM	21
2.10. Perhitungan Daya PCM.....	21
2.11. Perhitungan Waktu Pendingan Ruangan Sistem Hybird.....	21
2.12. Perhitungan Q di Evaporator Sistem Hybird.....	21
2.13. Perhitungan Laju Aliran Massa refrigeran dengan Penambahan <i>PCM</i>	22
2.14. Perhitungan Biaya Pengadaan <i>Phase Change Material</i>	22
2.15. Analisis Kriteria Investasi	22
BAB III.....	25
BAB IV	26
4.1 Data Kapal	27
4.2 Perhitungan Kebutuhan Awal	27
4.3 Sistem Pendinginan Udara <i>Existing</i>	32
4.4 Pemilihan Phase Change Material	33
4.5 Perhitungan Massa Phase Change Material	33
4.6 Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran tanpa <i>Phase Change Material</i>	34
4.7 Perhitungan Daya Kompresor menggunakan <i>Phase Change Material</i>	35
4.8 Perhitungan Waktu Pendinginan Ruangan Sistem Existing	35
4.9 Perhitungan Waktu Pendinginan PCM dan Ruangan	35
4.10 Perhitungan Daya PCM	36

4.11 Perhitungan Waktu Pendinginan Ruangan Sistem Hybird.....	36
4.12 Perhitungan Q di Evaporator Sistem Hybird	36
4.13 Perhitungan Laju Aliran Massa refrigeran dengan Penambahan <i>PCM</i>	36
4.14 Perhitungan Ulang Daya Kompresor Sistem Hybird	37
4.15 Perhitungan Biaya Pengadaan <i>Phase Change Material</i>	37
4.16 Phase Change Material yang Dipilih.....	38
4.17 Analisis Teknis.....	38
4.18 Analisis Ekonomis	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN	47
BIODATA PENULIS.....	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 : Suplai Pasok PT Pertamina.....	1
Gambar 1.2 : Daya generator suatu kapal.....	2
Gambar 2.1 : Perbedaan pengondisian udara dan refrigerasi.....	5
Gambar 2.2 : Siklus refrigerasi.....	6
Gambar 2.3 : Kompresor torak.....	8
Gambar 2.4 : Screw compressor.....	9
Gambar 2.5 : Watercooled condenser.....	10
Gambar 2.6 : Aircooled condenser.....	10
Gambar 2.7 : Contoh air receiver.....	11
Gambar 2.8 : Contoh flow control device.....	12
Gambar 2.9 : Evaporator.....	12
Gambar 2.10 : Contoh penggunaan PCM di rumah.....	13
Gambar 2.11 : Properti dari paraffin.....	14
Gambar 2.12 : Sistem pendinginan udara dengan PCM di thailand.....	14
Gambar 2.13 : Perbandingan electrical consumption.....	15
Gambar 2.14 : Hasil sistem yang dimodifikasi dari segi ekonomi.....	15
Gambar 2.15 : Ruang yang dialiri air conditioned.....	16
Gambar 2.16 : Pembagian transmisi panas.....	17
Gambar 2.17 : Keterangan rumus heat transmission.....	17
Gambar 2.18 : Jenis Jendela.....	17
Gambar 2.19 : Perbedaan temperatur antara conditioned dan non air conditioned internal spaces.....	18
Gambar 2.20 : Total heat transfer koefisien.....	18
Gambar 2.21 : Keterangan rumus solar heat gain.....	19
Gambar 2.22 : Heat emission and body activity.....	19
Gambar 2.23 : Heat gain from general lighting.....	20
Gambar 3.1 : Metodologi Penelitian.....	25
Gambar 4.1 : Ruang yang dialiri air conditioned.....	27
Gambar 4.2 : Ruang yang berbatasan dengan officer laundry.....	28
Gambar 4.3 : Ruang yang berbatasan dengan officer laundry pada sisi atas.....	28
Gambar 4.4 : Perhitungan officer laundry.....	29
Gambar 4.5 : Foreman room.....	30
Gambar 4.6 : Perhitungan solar heat gain foreman room.....	30
Gambar 4.7 : Perhitungan heat from person di wheel house.....	31
Gambar 4.8 : Total heat from person.....	31
Gambar 4.9 : Perhitungan hat gain from general lighting pada wheel house.....	32
Gambar 4.10 : Data perbandingan PCM tiap skenario.....	38
Gambar 4.12 : Sistem kerja pendingin udara dengan PCM saat discharging.....	39
Gambar 4.13 : Biaya Instalasi.....	40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1: Total heat transmission	29
Tabel 4.2: Total solar heat gain	30
Tabel 4.3: Total heat gain from general lighting	32
Tabel 4.4: Konsumsi listrik tanpa PCM	40
Tabel 4.5: Konsumsi listrik menggunakan PCM	41

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

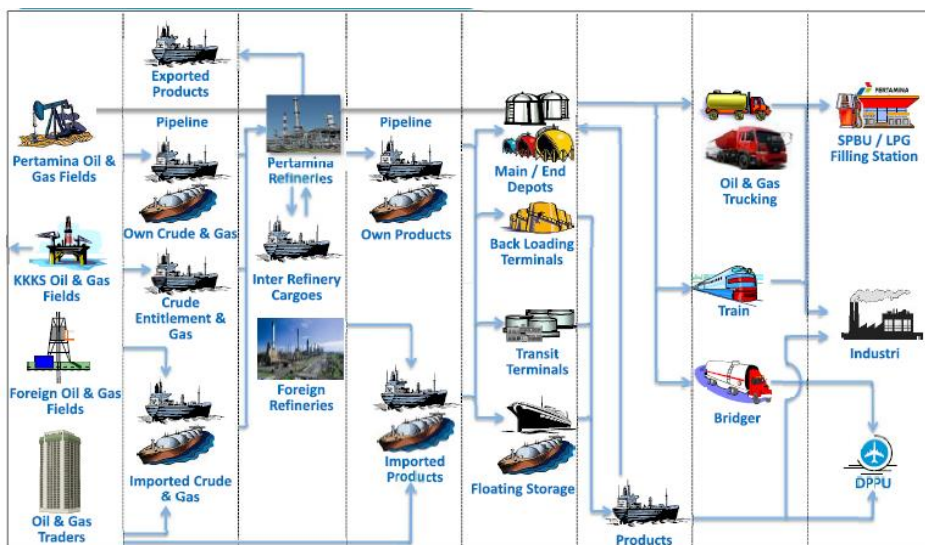
BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT Pertamina merupakan perusahaan milik negara dalam bidang *oil and gas*. Selain pengolahan *oil and gas*, PT Pertamina memiliki tugas lain yaitu¹ :

1. Penyelenggaraan angkutan laut dan sungai untuk minyak dan gas bumi, bahan bakar minyak dan gas, hasil olahannya dan produk petrokimia.
2. Penyelenggaraan pengelolaan kapal milik dan kapal yang disewa perusahaan untuk pengangkutan minyak dan gas bumi, bahan bakar minyak dan gas, hasil olahannya, dan produk petrokimia.

Untuk menjalankan fungsinya dari hulu ke hilir, PT Pertamina melalui beberapa proses. Berikut ini merupakan rantai pasok *oil and gas* PT Pertamina:



Gambar 1.1 : Suplai Pasok PT Pertamina
(Sumber : Flow Process – PT Pertamina (PERSERO))

Pada rantai pasok tersebut, peran kapal begitu besar sebagai sarana transportasi dari *gas field* menuju *refinery* serta dari *refinery* menuju stasiun pengisian bahan bakar. Kapal tanker menjadi moda transportasi penting bagi industri *oil and gas* milik Pertamina. Tak heran, dalam satu kali pelayarannya dapat memakan waktu berhari-hari untuk sampai ke tempat tujuan. Oleh sebab itu, faktor kenyamanan awak kapal menjadi hal penting untuk dipenuhi. Salah satunya adalah ruang akomodasi. Ruang akomodasi adalah ruangan tempat awak kapal beraktivitas. Ruang akomodasi mencakup beberapa ruangan diantaranya, *sleeping room*, *mess room*, *hospital*, *lavatory*, *galley*, dan ruangan lainnya. Salah satu faktor kenyamanan awak kapal adalah ventilasi udara.

¹Keputusan Presiden 169 tahun 2000

Pada peraturan pemerintah mensyaratkan di ruang akomodasi harus terdapat perlengkapan akomodasi awak kapal dan ventilasi udara yang cukup serta terpisah dari ventilasi udara untuk ruang mesin dan ruang muatan². Pengondisian temperatur udara menjadi cara untuk terpenuhinya kenyamanan kru di ruang akomodasi.

Terdapat sebuah sistem yang digunakan untuk pengondisian udara tersebut yaitu sistem pengaturan udara. Sistem pengaturan udara terdiri dari kompresor, kondensor, evaporator, serta *flow control device*. Dengan memanfaatkan prinsip pertukaran panas, sistem refrigerasi akan mengondisikan udara sesuai dengan temperatur yang diatur oleh awak kapal. Berdasarkan acuan dari *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*, ruang akomodasi yang terdapat komputer di dalamnya direkomendasikan untuk berada pada temperatur 18° to 27° C³.

Namun, sistem pengaturan udara untuk ruang akomodasi memakan daya listrik yang tidak sedikit. Sebagai contoh, kebutuhan listrik salah satu perusahaan pelayaran di Indonesia yang memiliki lpp 90 meter mencapai 240 kW.

GENERATOR : 1 X 300 KVA RESP. 240 KW/900 RPM

Gambar 1.2: Daya generator suatu kapal

Daya generator yang cukup besar tersebut akan memberikan dampak pada konsumsi bahan bakar untuk generator tersebut. Pada sistem pengaturan udara, konsumsi daya listrik yang dibutuhkan mencapai 25 kW untuk *central cooler* pada salah satu kapal. Tingginya konsumsi listrik untuk sistem pengaturan udara menjadi pemborosan tersendiri. Untuk itu diperlukan solusi dalam mengurangi konsumsi daya listrik pada sistem pengaturan udara tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ada dua, yaitu:

1. Bagaimana konsumsi daya listrik pada sistem pengaturan udara dengan menggunakan *phase change material*?
2. Bagaimana analisis kelayakan investasi pemanfaatan *phase change material* pada sistem pengaturan udara?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih fokus, yaitu :

1. Obyek perancangan adalah kapal Pertamina.
2. Menganalisis konsumsi daya listrik dengan menggunakan *phase change material* pada sistem pengaturan udara. Perancangan sistem pengaturan udara dikhususkan untuk ruangan akomodasi.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

²Peraturan Pemerintah tahun 2002 Pasal 78 ayat 4

³ASHRAE, Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices, 2016, hlm. 11

1. Mengetahui kinerja *air conditioner* dengan menggunakan *phase change material*.
2. Mengetahui konsumsi daya listrik sistem pengaturan udara dengan menggunakan *phase change material*
3. Mengetahui analisis ekonomi penggunaan *phase change material* pada sistem pengaturan udara.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

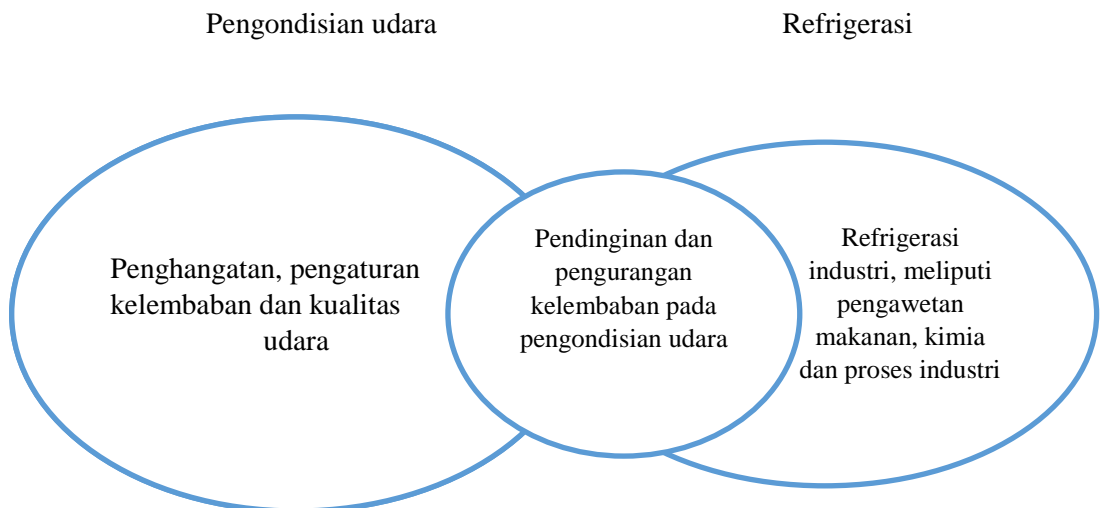
1. Sebagai rekomendasi untuk penggunaan *phase change material* di Kapal Pertamina
2. Inovasi untuk penghematan konsumsi daya listrik di kapal.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Sistem Refrigerasi

Pengkondisian udara adalah “proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalamnya” (Stoecker & Jones, 1994:1). Teknik pengondisian udara tidak hanya menerapkan teknik refrigerasi, namun juga usaha pemanasan seperti pengaturan kecepatan, radiasi termal, dan kualitas udara termasuk penyaringan partikel dan uap kotor⁴. Berikut ini merupakan kaitan antara bidang refrigerasi dan pengondisian udara:



Gambar 2.1: Perbedaan pengondisian udara dan refrigerasi
Sumber : Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, 1994

Menurut Edward G. Pita, refrigerasi adalah:

“... the removal of heat from a substance to bring it to or keep it at a desirable low temperature, below the temperature of the surroundings.”

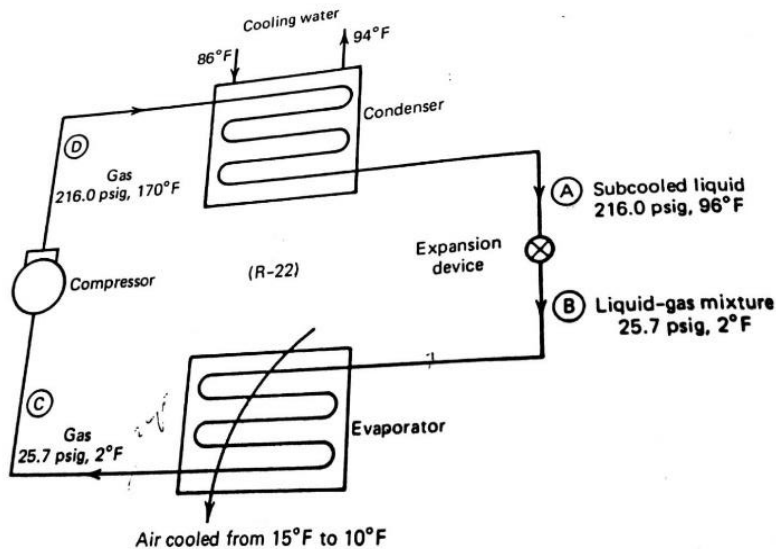
Berdasarkan kedua pengertian tersebut, sistem refrigerasi adalah proses mengeluarkan kalor dari suatu ruang untuk tercapainya suhu yang diinginkan

⁴W.F. Stoecker & J.W. Jones, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga, Jakarta, 1994, hlm. 1

dibawah temperatur lingkungan⁵. Sistem refrigerasi diperlukan untuk berbagai keperluan untuk tujuan pengawetan makanan ataupun kenyamanan penghuni. Berikut ini merupakan beberapa aplikasi sistem refrigerasi⁶:

1. Komersial (toko, restoran, dsb):
 - Pengawet makanan
 - Menyimpan makanan
2. Industri (pabrik pembekuan makanan, gudang, seluncur es, dsb):
 - Pengawet dan penyimpan makanan
 - Pembuatan es
 - Proses industri
3. Domestik (*refrigerator, freezer*):
 - Penyimpan makanan
4. *Air conditioning* (bangunan, kendaraan):
 - Kenyamanan
 - Proses industri
5. Transportasi (kendaraan):
 - Pengawet makanan

2.2. Proses Sistem Refrigerasi



Gambar 2.2: Siklus refrigerasi

Sumber : Buku Refrigeration Principles and Systems, 1984

⁵E.G. Pita, *Refrigeration Principles and System*, John Wiley & Sons, Kanada, 1984, hlm 3

⁶Ibid, hlm 2

Sistem tersebut terdiri dari 4 komponen dasar yaitu; *flow control device*, evaporator, kompresor, dan kondensor. Berikut ini merupakan penjelasan dari tahapan sistem refrigerasi⁷:

A. Proses dari A-B melalui *flow control device*

Pada gambar tersebut, refrigerant cair R-22 pada tekanan 216 psig dan temperatur 96⁰ F memasuki *flow control device* pada titik A. *Flow control device* mempunyai bukaan yang kecil sehingga terjadi *pressure loss* yang besar ketika refrigeran mengalir melewati *flow control device*. Tekanan ketika refrigeran melewati titik B adalah 25.7 psig. Dikarenakan tekanan ini dibawah tekanan jenuh sesuai dengan temperatur 96⁰ F, beberapa cairan refrigeran berubah menjadi gas. Sebagian cairan yang menguap mengambil panas laten yang dibutuhkan untuk penguapannya dari campuran yang mengalir, sehingga mendinginkan refrigeran cair tersebut. Temperatur jenuh untuk R-22 pada 25.7 psig adalah 2⁰ F sehingga temperatur tersebut menjadi temperatur refrigeran pada titik B.

B. Proses dari B-C melalui Evaporator

Refrigeran mengalir melewati tabung evaporator dari B ke C. Material yang ingin di dinginkan biasanya udara atau cairan, yang mengalir diluar tabung. Temperatur tersebut lebih tinggi dibandingkan refrigeran yang berada di dalam evaporator, oleh sebab itu kalor akan berpindah melalui dinding tabung menuju refrigeran. Pada kasus gambar diatas, udara yang di dinginkan dari suhu 15⁰ F ke 10⁰ F. Dikarenakan refrigeran cair di dalam evaporator sudah berada pada temperatur jenuhnya (titik didih) kalor yang di dapat akan menyebabkan refrigeran cair tersebut berevaporasi. Refrigeran akan meninggalkan evaporator sebagai *saturated vapor* atau *superheated vapor*.

C. Proses dari C-D melalui Kompresor

Kompresor menghisap uap dari sisi *suction* dan menekannya pada tekanan tinggi yang sesuai untuk dikondensasikan. Tekanan ini kira-kira adalah tekanan ketika refrigeran memasuki *flow control device*, 216 psig. Daya yang dibutuhkan untuk menekan gas tersebut berasal dari motor atau *engine* yang menggerakkan kompresor. Refrigeran akan meninggalkan kompresor pada temperatur 170⁰ F pada contoh ini, di titik D, merupakan kondisi *superheated*.

D. Proses dari D-A melalui Kondensor

Gas bertekanan tinggi yang keluar dari kompresor mengalir melalui tabung kondensor, dari D ke A. Fluida seperti udara atau air mengalir di luar tabung. Pada contoh ini air yang digunakan berada pada temperatur 86⁰ F. Kalor akan mengalir dari refrigeran bertemperatur tinggi melalui dinding tabung menuju air

⁷E.G. Pita, *Refrigeration Principles and System*, John Wiley & Sons, Kanada, 1984, hlm 38

tersebut. Refrigeran yang berada pada kondisi super panas tersebut akan didinginkan pertama kali ketika memasuki kondensor hingga mencapai temperatur jenuh, yaitu 106°F pada 216 psig. Pelepasan kalor dari refrigeran secara bertahap akan terjadi sampai refrigeran berubah menjadi cair. Refrigeran akan keluar dari kondensor sebagai *saturated liquid* atau *subcooled*. Pada contoh ini diasumsikan *subcooled* sampai 96°F sebelum memasuki *flow control device*.

2.3. Komponen-Komponen pada Sistem Refrigerasi

a. Kompresor

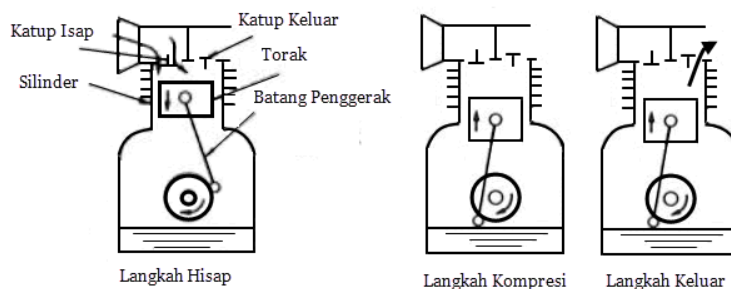
Menurut Edward G. Pita, fungsi kompresor:

“The primary function of a refrigeration compressor is to increase the pressure of the refrigerant gas from the evaporating pressure to a pressure at which the gas can be condensed”

Kompresor merupakan jantung dari sistem kompresi uap. Fungsi utama dari kompresor menghasilkan fungsi sekunder. Tekanan tinggi memberikan energi yang cukup untuk mengalirkan refrigeran untuk mengatasi tahanan gesek dengan pipa dan komponen. Selain itu, perbedaan tekanan yang tinggi menyebabkan ekspansi mendadak pada *flow control device* yang menyebabkan *temperature drop*⁸.

Kompresor dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu *positive displacement compressor* dan *dynamic compressor*. Terdapat tiga jenis *positive displacement compressor*: *reciprocating*, *rotary*, dan *helical rotary (screw)*. Hanya satu tipe *dynamic* yang digunakan pada sistem refrigerasi, yaitu *centrifugal compressor*⁹. Berikut ini merupakan penjelasan cara kerja beberapa kompresor tersebut.

- **Reciprocating Compressor**



Gambar 2.3: Kompresor torak

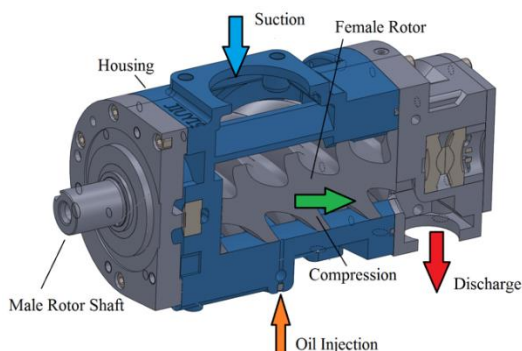
Sumber : <http://www.mikirbae.com/2015/05/prinsip-kerja-kompresor.html>

⁸E.G. Pita, *Refrigeration Principles and System*, John Wiley & Sons, Kanada, 1984, hlm 72

⁹E.G. Pita, loc.cit.

Ketika langkah hisap, gas refrigeran bertekanan rendah akan dihisap masuk melalui katup hisap pada kompresor. Pada suatu langkah buang, piston akan menekan dan mendorong refrigeran keluar dari kompresor melalui katup buang¹⁰. Kompresor melakukan *suction* dan *compression* pada gas setiap 1 kali putaran crankshaft¹¹.

- **Screw Compressor**



Gambar 2.4: Screw compressor

Sumber : <http://pdmanalysis.co.uk/wp-content/uploads/2017/01/Compressor1.png>

Uap refrigeran memasuki kompresor pada sisi *suction*. Kemudian putaran dari ulir akan memperkecil volume rongga dan menekan gas tertentu. Pada saat tertentu dalam proses kompresi, lubang buang terbuka sehingga gas yang tertekan keluar melalui lubang buang tersebut¹².

b. Kondensor

Fungsi utama dari kondensor dalam sistem refrigerasi adalah melepaskan kalor dari refrigeran uap yang meninggalkan kompresor sehingga refrigeran tersebut berkondensasi menjadi refrigeran cair¹³. Refrigeran berubah wujud dari uap *superheated* bertekanan tinggi menjadi cairan *subcooled* bertekanan tinggi¹⁴.

Menurut media system pendinginnya, kondensor dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

- **Water Cooled Condensers**

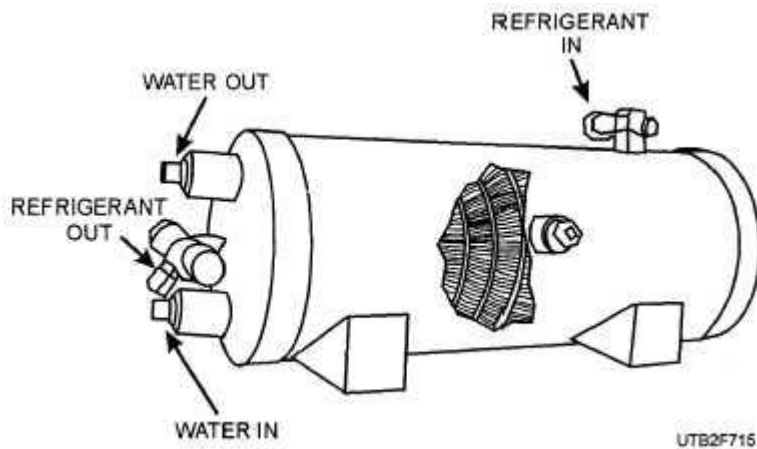
¹⁰W.F. Stoecker & J.W. Jones, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga, Jakarta, 1994, hlm. 194

¹¹E.G. Pita, op.cit. hlm 73

¹²W.F. Stoecker & J.W. Jones, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga, Jakarta, 1994, hlm. 208

¹³E.G. Pita, *Refrigeration Principles and System*, John Wiley & Sons, Kanada, 1984, hlm 123

¹⁴H. Haryowidagdo, *Kajian Teknis dan Ekonomis Perancangan Reefer Container Berbasis Teknologi Phase Change Material Untuk Aplikasi Di Kapal*, 2017, 24.

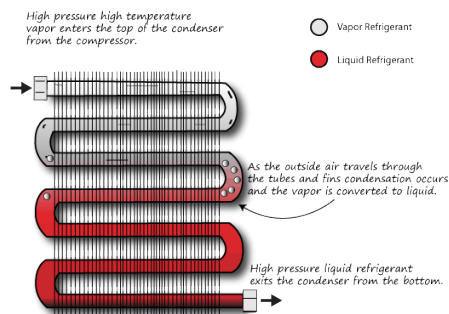


Gambar 2.5: Watercooled condenser

Sumber : <http://constructionmanuals.tpub.com/14279/css/Water-Cooled-Condensers-251.htm>

Suplai air untuk *water cooled condenser* dapat berupa *once-through* atau *recirculated*. Pada *once-through*, air yang digunakan berasal dari suplai permanen yang mencukupi kebutuhan dan dibuang setelah melewati kondensor. Suplai dapat berasal dari sungai, danau, atau sumur. Ketika suplai air untuk *once-through* tidak tersedia, suplai air dapat berupa *recirculated*. Untuk menjalankan sistem ini, air harus didinginkan setelah meninggalkan kondensor¹⁵.

- **Air Cooled Condensor**



Gambar 2.6: Aircooled condenser

Sumber : <http://www.hvaceducationaustralia.com/glossary.html>

Refrigeran mengalir melewati tabung dan air mengalir memotong tabung. Kondensor yang berukuran kecil tidak menggunakan kipas serta hanya menggunakan natural konveksi oleh udara yang mengalir. Pada beberapa kondensor berkapasitas

¹⁵E.G. Pita, op.cit. hlm 124

besar digunakan kipas untuk meningkatkan laju udara. *Air cooled condenser* memiliki pengoperasian yang mudah. Kondensor ini tidak memerlukan air atau *cooling tower* dan dapat dioperasikan pada saat musim dingin tanpa dipengaruhi oleh *water freezing*¹⁶.

c. Receiver Tank

Tangki penampung (Receiver) adalah tangki yang digunakan untuk menyimpan refrigerant cair yang berasal dari pengeluaran kondensor (Ilyas,1993). Menurut Ilyas (1993), sebagai tempat refrigeran, receiver mempunyai dua fungsi yaitu :

- Menyimpan refrigerant cair pada waktu kerja.
- Tempat penyimpanan refrigeran pada saat maintenance.



Gambar 2.7: Contoh air receiver

Sumber : https://is.alicdn.com/img/pb/212/686/405/405686212_631.jpg

d. Flow control device

Flow control device dipergunakan untuk mengekspansikan secara adiabatik cairan refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat keadaan tekanan dan temperatur rendah. Pada waktu *flow control device* membuka saluran sesuai dengan jumlah refrigeran yang diperlukan oleh evaporator, sehingga refrigeran menguap sempurna pada waktu keluar dari evaporator (Arismunandar & Saito, 2005).

Flow control device memiliki dua fungsi dalam sistem refrigerasi kompresi uap¹⁷:

1. Mengatur laju aliran refrigeran cair menuju evaporator sesuai kebutuhan
2. Menciptkan *pressure drop* dari sisi tinggi menuju sisi rendah dari sistem. Hasil dari ekspansi ini adalah sebagian dari refrigeran berevaporasi sehingga menurunkan temperatur sampai temperatur evaporasi.

¹⁶E.G. Pita, *Refrigeration Principles and System*, John Wiley & Sons, Kanada, 1984, hlm 129

¹⁷E.G. Pita, *Refrigeration Principles and System*, John Wiley & Sons, Kanada, 1984, hlm 155

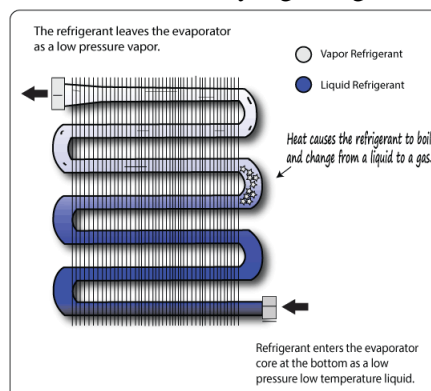


Gambar 2.8: Contoh flow control device

Sumber: <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/sp-0485-air-conditioner-parts-copper-expansion-valve-for-air-conditioner-60115967292.html>

e. Evaporator

Evaporator berguna sebagai tempat perpindahan panas antara media yang ingin di dinginkan dengan refrigeran cair. Media yang di dinginkan dapat berupa gas, cairan, ataupun padat. Pada umumnya media yang di dinginkan adalah udara. Refrigeran memasuki tabung evaporator pada temperatur dan tekanan yang rendah seperti pada hasil ekspansi dari *flow control device*. Sebagian kecil dari refrigeran telah berevaporasi sebagai akibat dari *pressure drop*. Dikarenakan temperatur udara lebih tinggi daripada refrigeran, kalor akan mengalir dari udara melewati evaporator menuju refrigeran. Refrigeran cair yang memasuki evaporator berada pada temperatur jenuh. Untuk itu, refrigeran akan menguap secara bertahap ketika menerima kalor yang mengalir tersebut¹⁸.



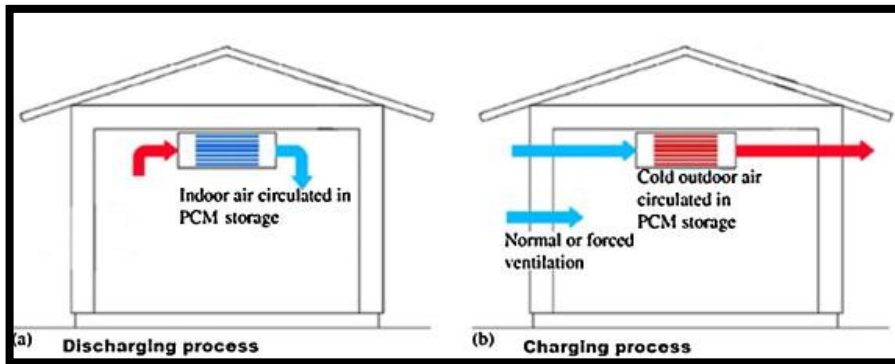
Gambar 2.9: Evaporator

Sumber: <https://www.freeasestudyguides.com/ac-evaporator.html>

¹⁸E.G. Pita, *Refrigeration Principles and System*, John Wiley & Sons, Kanada, 1984, hlm 109

f. *Phase Change Material*

Phase change material (PCM) adalah sebuah material yang dapat menyimpan atau melepaskan sejumlah energi panas dengan mengubah fase dari padat ke cair dan vice versa.



Gambar 2.10: Contoh penggunaan PCM di rumah

Sumber: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814004137>

Pada aplikasi di rumah yang ditunjukkan pada gambar 11, PCM akan melakukan proses *charging* dengan menyimpan kalor dari suhu di luar ruangan yang dialirkan melewati PCM. PCM akan membeku apabila suhu *outdoor* sesuai dengan titik beku PCM. Pada proses *discharging*, suhu di dalam ruangan akan didinginkan ketika melakukan perpindahan panas dengan PCM. Udara *indoor* akan dialirkan melewati PCM sehingga terjadi perpindahan panas. Apabila dilakukan terus menerus, PCM akan mencair dan membutuhkan *charge* ulang.

2.4. Penggunaan Phase Change Material di Thailand

Terdapat sebuah penelitian yang dilakukan di Thailand. Dalam journal yang disusun oleh Nattaporn Chaiyat dan Tanongkiat Kiatsisiroat tersebut memanfaatkan phase change material untuk sistem refrigerasi pada gedung di Thailand. Ruangan yang digunakan untuk percobaan berukuran 2.4 m x 3.6 m x 2.5 m. Pada penelitian tersebut, digunakan paraffin sebagai PCM. Berikut ini merupakan properti dari paraffin¹⁹:

¹⁹N. Chaiyat & T. Kiatsisiroat, "Case Studies In Thermal Engineering", *Energy Reduction Of Building Air-Conditioner With Phase Change Material In Thailand*, 2014, 176.

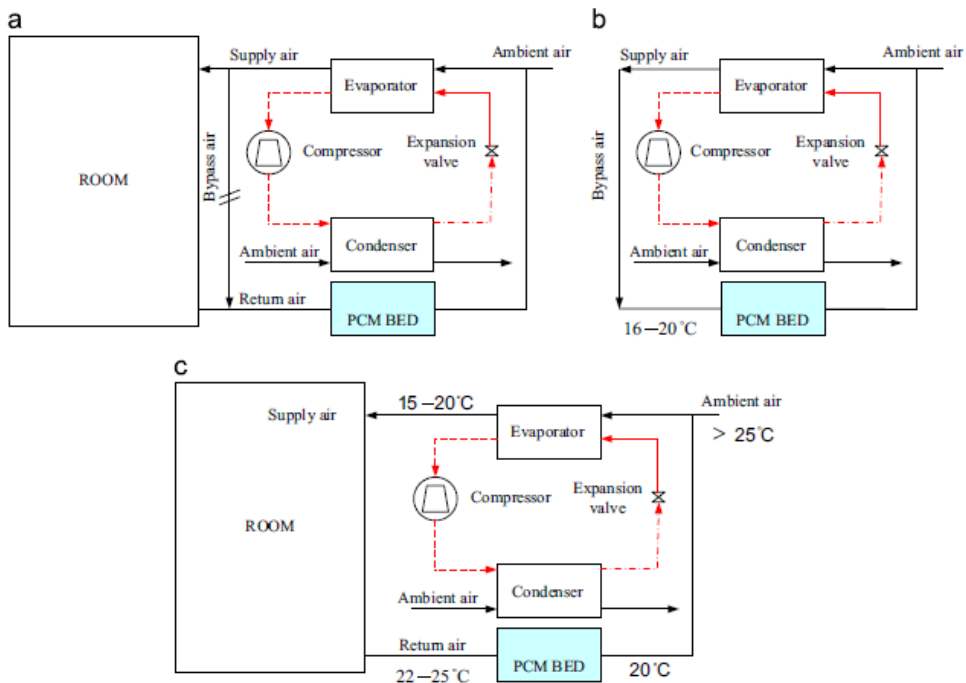
Table 1
Descriptions of the paraffin waxes property [8–10].

Paraffin	Properties
Paraffin melting peak point (°C)	22
Freezing peak point (°C)	20
Heat of fusion (kJ/kg)	160–180
Density liquid (kg/l)	0.75
Volume expansion	10%

Gambar 2.11: Properti dari paraffin

(Sumber : Jurnal energy reduction of building air-conditioner with phase change material in Thailand)

Pada penelitian tersebut menggunakan desain seperti berikut²⁰:



Gambar 2.12: Sistem pendinginan udara dengan PCM di thailand

(Sumber : Jurnal energy reduction of building air-conditioner with phase change material in Thailand)

Gambar a yang merupakan sistem refrigerasi yang telah dimodifikasi. Pada desain tersebut, refrigeran akan melakukan perpindahan panas dengan *ambient air*

²⁰N. Chaiyat & T. Kiatsisiroat, "Case Studies In Thermal Engineering", *Energy Reduction Of Building Air-Conditioner With Phase Change Material In Thailand*, 2014, 178

di kondensor sehingga berubah fase menjadi cair. Tahap selanjutnya adalah refrigeran cair tersebut memasuki evaporator untuk bertukar panas dengan udara sehingga akan menghasilkan *supply air* dan refrigeran berubah wujud menjadi gas. Kondisi ketika PCM melakukan *charging operation* ditunjukkan pada gambar b. Udara hasil evaporasi yang memiliki temperatur 16°C - 20°C akan dimanfaatkan untuk mendinginkan PCM. Setelah itu udara hasil pertukaran panas akan masuk ke evaporator untuk didinginkan kembali. Gambar C merupakan *discharging operation*. *Ambient air* akan memasuki PCM Bed untuk bertukar panas dengan PCM. Hasil dari pertukaran panas tersebut adalah udara dengan temperatur 20°C . Udara tersebut akan melewati evaporator kembali untuk selanjutnya memasuki ruangan.

Percobaan tersebut menghasilkan penghematan dari segi daya listrik dibandingkan sistem refrigrasi kompresi uap konvensional. Berikut ini merupakan perbandingan dari kedua sistem tersebut tersebut:

Electrical power consumption of the normal system and the modified system.

Air-conditioner	Operating time (h/d)	Electrical power (kW)	Electrical power consumption (kW h/d)	Electricity cost (baht/d)
The normal system	12	3.28	39.36	197.21
The modified system				
Charging period	3	0.84	2.52	5.50
Discharging period	3	1.41	4.23	17.93
Steady period	9	3.28	29.52	155.49
Total	14	-	36.27	178.93
Saving			3.09	18.28

Gambar 2.13: Perbandingan electrical consumption
Sumber : Case Studies In Thermal Engineering

Berdasarkan penghematan daya listrik tersebut, terdapat pula penghematan dari segi ekonomis. Analisis ekonomis dari penelitian tersebut:

The economic results of the modified system.

Descriptions	The normal system	The modified system
PCM cost at 57.6 l (baht)	0	23,040
Electricity cost per year		
Peak 9.00-22.00 o'clock (baht)	40,724.53	36,503.08
Off peak 22.00-9.00 o'clock (baht)	1,534.13	1,838.15
Holiday 0.00-24.00 o'clock (baht)	7,363.81	6,785.70
Pt (baht)	6,966.72	6,271.11
Total cost per day (baht/y)	61,041.17	55,486.65
Saving		
Percentage (%)	-	9.10
Cost (baht/y)	-	5,554.52
Cost (baht/y · TR)	-	2,777.26
Payback period (y)	-	4.15

Gambar 2.14: Hasil sistem yang dimodifikasi dari segi ekonomi
Sumber : Case Studies In Thermal Engineering

Hasil itu didapatkan dengan²¹:

- Waktu kerja normal *air-conditioner system* (12 h/d) 8.00 -20.00
- Waktu kerja *air-conditioner system* modifikasi 15 h/d

²¹E.G. Pita, *Refrigeration Principles and System*, John Wiley & Sons, Kanada, 1984, hlm 109

- c. *Charging mode* (3 h/d) 8:00-11:00
- d. *Discharging mode* (3 h/d) 8:00-11:00
- e. *Steady mode* (9 h/d) 11.00-20.00
- f. Harga Paraffin (400 baht/l)

2.5. Perhitungan Kebutuhan Awal

Perhitungan kebutuhan awal menggunakan ISO 7547 sebagai standar. Berdasarkan ISO 7547 tersebut, suhu dan kelembaban adalah:

Summer temperatures and humidities:

- a) Outdoor air : +35⁰ C and 70% humidity;
- b) Indoor air : +27⁰ C and 50% humidity.

Winter temperatures

- a) Outdoor air : -20⁰ C
- b) Indoor air : +22⁰ C

Dikarenakan kapal X berlayar di area pelayaran Indonesia, maka kebutuhan awal tidak dihitung berdasarkan *winter temperatures*. Terdapat 4 tahapan dalam menghitung beban panas yaitu:

1. Perhitungan *heat transmission*
2. Perhitungan *solar heat gain*
3. Perhitungan *heat gain from person*
4. Perhitungan *heat gain from lighting and other sources*

2.5.1. Penentuan air conditioned room

Penentuan ruangan yang dialiri *air conditioned* untuk keperluan perhitungan beban panas berdasarkan data dari kapal X tersebut.

PR3854G02 Rev_Z_1216

HEAT LOAD SUMMARY AND AIR FLOW BALANCE

Room Name	Room Volume m³	People P	Heat Load		A/C Supply Air		Return Air		Mech. Exh. Amount m³/h	Natural Exh. Amount m³/h	Cooling Capacity w	Heating Capacity w
			SHT	LHT	Amount	Rate	Fresh Air	Amount				
			W	W	m³/h	T/h	m³/h	m³/h				
MAIN AC SYSTEM												
NAV. DECK												
WHITEHOUSE(500)	276.9	4	13,584	200	4,058	14.5	2029	2,983	75	1000	47,233	+25,317
B.I.F RM(505)	7.8	0	29	0	60	8.0	30	60	0	60	527	+303
PILOT(506)	22.9	1	896	50	266	11.2	128	181	75	0	3,032	+1,803
Subtotal	310	5	14,479	250	4,374		2,187	3,164	210	1,000	50,772	+27,423
FRESH AIR RADIO	0.5											
C DECK												
CNENG'S DAY RM(431)	44.9	4	1,045	200	360	8.0	180	360	0		4,207	+2,202
CNENG'S BED RM(402)	27.9	1	769	50	230	8.2	115	155	75		2,710	+1,670
CAPTAIN DAY RM(403)	53.9	4	1,024	200	430	9.0	215	430	0		4,789	+2,536
CAPTAIN BED RM(404)	28.1	1	771	50	230	8.2	115	155	75		2,717	+1,555
C/OFFICE DAY RM(405)	44.9	4	1,268	200	375	8.4	189	375	0		4,551	+2,639
C/OFFICE BED RM(406)	21.2	1	714	50	213	10.1	107	138	75		3,521	+1,308
2ND ENG. DAY ROOM(407)	37.6	4	1,015	200	303	8.1	152	303	0		3,713	+2,004
4TH ENG(409)	25.2	1	826	50	276	11.0	138	201	75		3,254	+2,056
LINE LK(414)	25.2	0	96	0	151	6.0	76	0	151		1,343	+156
DRIVING ROOM(415)	16.9	0	72	0	113	6.0	57	0	113		1,006	+567
3RD ENG(417)	41.6	1	1,203	50	359	8.6	180	294	75		4,211	+2,776
2ND OFF(418)	41.6	1	1,203	50	359	8.6	180	294	75		4,211	+2,776
2ND ENG. BED RM(408)	16.7	1	705	50	210	11.3	105	135	75		2,468	+1,511
3RD OFFICE(419)	26.9	1	765	50	228	8.5	114	153	75		2,695	+1,630
CYBER(420)	28.4	1	938	50	280	9.9	140	225	75		3,298	+2,074
OFF. LAUNDRY(416)	44.1	0	169	0	440	10.0	220	0	440		3,802	+2,205
CAPTAIN PANTRY(413)	9.2	0	36	0	65	8.0	28	0	65		555	+290
Sub-Total	538	25	12707	1250	4614		2307	3180	1434	0	50048	+30764
FRESH AIR RADIO	0.5											
B DECK												
FOREMAN RM(301)	26.7	1	564	50	168	8.3	84	83	75		2301	+1,124
ELECTRICIAN(302)	26.9	1	606	50	181	8.7	90	106	75		2,145	+1,201
PUMPMAN(303)	26.0	1	527	50	157	8.0	79	82	75		1874	+1,020
PUMPMAN(304)	26.2	1	527	50	157	8.2	79	82	75		1873	+1,019

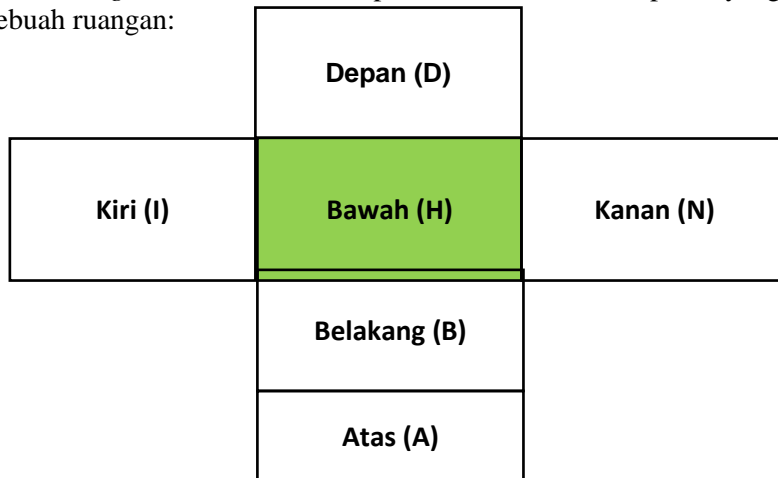
Page 4 of 6

Gambar 2.15: Ruangan yang dialiri air conditioned

2.5.2. Perhitungan *heat transmission*

Perhitungan *heat transmission* berdasarkan transmisi panas yang mendapatkan pengaruh dari ruangan lain. Untuk beban panas yang diakibatkan oleh pengaruh sinar matahari, dilakukan perhitungan pada tahapan perhitungan

solar heat gain. Berikut ini merupakan skema transmisi panas yang terjadi pada sebuah ruangan:



Gambar 2.16: Pembagian transmisi panas

Menghitung *heat transmission* di setiap ruangan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\dot{Q} = \Delta T(K_v A_v) + (K_g A_g) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

ΔT is the difference in air temperature, in kelvins, (for the difference of air temperature between air-conditioned and non-air-conditioned internal spaces, see 5.2.2);

k_v is the total heat transfer coefficient, in watts per square metre kelvin, for the surface A_v (see 5.2.3);

A_v is the surface, in square metres, excluding side scuttles and rectangular windows (glazing + 200 mm) (see Figures 1 and 2);

k_g is the total heat transfer coefficient, in watts per square metre kelvin, for the surface A_g (see 5.2.3);

A_g is the area, in square metres, of side scuttles and rectangular windows (glazing + 200 mm) (see Figures 1 and 2).

Gambar 2.17: Keterangan rumus heat transmission

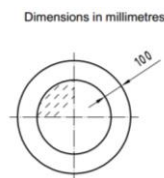


Figure 1 — Side scuttles

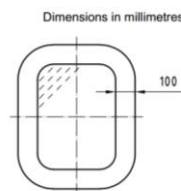


Figure 2 — Rectangular windows

Gambar 2.18: Jenis Jendela

Perbedaan temperatur antara *conditioned* dan *non-air conditioned internal spaces* yang tercantum pada rumus diatas berdasarkan tabel di bawah ini :

Deck or bulkhead	$\Delta T, K$	
	Summer	Winter
Deck against tank provided with heating	43	17
Deck with bulkhead against boiler-room	28	
Deck and bulkhead against engine-room and against non-air-conditioned gallery	18	
Deck and bulkhead against non-heated tanks, cargo spaces and equivalent	13	42
Deck and bulkhead against laundry	11	17
Deck and bulkhead against public sanitary space	6	0
Deck and bulkhead against private sanitary space		
a) with any part against exposed external surface	2	0
b) not exposed	1	0
c) with any part against engine/boiler-room	6	0
Bulkhead against alleyway	2	5
NOTE It is understood that means of heating are provided in exposed sanitary spaces.		

Gambar 2.19: Perbedaan temperatur antara conditioned dan non air conditioned internal spaces

Total heat transfer koefisien pada rumus tersebut tercantum dalam ISO 7547 yaitu:

Surfaces	Total heat transfer coefficient, kW/(m ² ·K)
Weather deck not exposed to sun's radiation and ship side and external bulkheads	0,9
Deck and bulkhead against engine-room, cargo space or other non-air-conditioned spaces	0,8
Deck and bulkhead against boiler-room or boiler in engine-room	0,7
Deck against open air or weather deck exposed to sun's radiation and deck against hot tanks	0,6
Side scuttles and rectangular windows, single glazing	6,5
Side scuttles and rectangular windows, double glazing	3,5
Bulkhead against alleyway, non-sound reducing	2,5
Bulkhead against alleyway, sound reducing	0,9

Gambar 2.20: Total heat transfer koefisien

2.5.3. Perhitungan Solar Heat Gain

Merupakan panas yang timbul akibat radiasi matahari yang masuk ke dalam ruangan. Sehingga yang akan digunakan disini nantinya ialah perbedaan temperatur antara ruangan yang telah terkena radiasi panas matahari dengan yang tidak, serta panas yang timbul berdasarkan luasan yang terkena radiasi matahari. *Solar heat gain* dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\phi_s = \sum A_v K \Delta T_r + \sum A_g G_s \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

A_v is the surface exposed to solar radiation in square metres (side scuttles and rectangular windows are not included);

k is the total heat transfer coefficient in accordance with 5.2.3 or 5.2.4 for a ship structure (deck, outer bulkhead, etc.) within the surface A_v ;

ΔT_r is the excess temperature (above the outside temperature of +35 °C) caused by solar radiation on surfaces as follows:

$\Delta T_r = 12$ K for vertical light surfaces,

$\Delta T_r = 29$ K for vertical dark surfaces,

$\Delta T_r = 16$ K for horizontal light surfaces,

$\Delta T_r = 32$ K for horizontal dark surfaces;

A_g is the glass surfaces (clear opening) exposed to solar radiation, in square metres;

G_s is the heat gain per square metre from glass surfaces as follows:

$G_s = 350$ W/m² for clear glass surfaces,

$G_s = 240$ W/m² for clear glass surfaces with interior shading.

Gambar 2.21: Keterangan rumus solar heat gain

2.5.4. Perhitungan *Heat Gain From Person*

Nilai kalor sensible dan kalor laten yang dikeluarkan oleh seseorang pada ruangan indoor dengan temperatur 27°C seperti yang ditunjukkan pada tabel 4 di ISO berikut:

Activity	Type of heat	Emission W
Seat at rest	Sensible heat	70
	Latent heat	50
Medium/heavy work	Sensible heat	85
	Latent heat	150

Gambar 2.22: Heat emission and body activity

Dengan mengetahui jumlah orang yang menempati suatu ruangan beserta jenis aktivitas, maka *heat gain from person* dapat dihitung.

2.5.5. Perhitungan *heat gain from lighting and other sources*

Merupakan panas yang timbul akibat dari panas lampu yang ada di dalam ruangan. Nilai panas per ruangan adalah:

Space	Heat gain from general lighting W/m ²	
	Incandescent	Fluorescent
Cabins, etc.	15	8
Mess- or dining-rooms	20	10
Gymnasiums, etc.	40	20

Gambar 2.23: Heat gain from general lighting

2.6. Perhitungan Massa Phase Change Material

Terlebih dahulu mencari kalor beban :

$$F = (L + CP * DELTA T)$$

Keterangan:

F = Kalor per kilogram

L = Kalor laten

Cp = Kalor Spesifik

Delta T = Selisih temperatur

Setelah mendapatkan kalor beban, mencari massa yang dibutuhkan dengan rumus:

$$Q = M \times L \dots\dots\dots (2.3)$$

2.7. Perhitungan Daya di Evaporator

a. Perhitungan Laju Aliran Massa Evaporator

$$M_{ref} = \frac{P_{com}}{H_2 - H_1} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

Mref = Laju aliran massa refrigeran

Pcom = Daya kompresor

H2 = Entalpi 2

H1 = Entalpi 1

b) Perhitungan Daya di Evaporator

$$Q_e = m_{ref} \times (h_1 - h_4) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

Mref = Laju aliran massa refrigeran

Qe = Daya di evaporator

H4 = Entalpi 4

H1 = Entalpi 1

2.8. Perhitungan Waktu Pendinginan Ruangan Sistem Exisitng

$$P = Q/T \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

P = Daya di evaporator
Q = Kalor beban ruangan
T = Waktu

2.9. Perhitungan Waktu Pendinginan Ruangan dan PCM

$$P = Q/T \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

P = Daya di evaporator
Q = Kalor beban ruangan dan PCM
T = Waktu

2.10. Perhitungan Daya PCM

$$P = Q/T \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

P = Daya PCM
Q = Kalor beban ruangan sesuai perencanaan (8 jam)
T = Waktu

2.11. Perhitungan Waktu Pendinginan Ruangan Sistem Hybird

$$P = Q/T \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

P = Daya PCM + Evaporator
Q = Kalor beban ruangan
T = Waktu

2.12. Perhitungan Q di Evaporator Sistem Hybird

Perhitungan Q di evaporator di perlukan untuk mengetahui penambahan kalor setelah beban pendinginan bertambah untuk mendinginkan *phase change material* dan udara.

$$Q_e = Q_{ref} - Q_{pcm} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- Q_e = Beban kalor di evaporator
 Q_{ref} = Beban refrigeran sebelum penambahan *phase change material*
 Q_{pcm} = Beban *phase change material*

2.13. Perhitungan Laju Aliran Massa refrigeran dengan Penambahan PCM

Laju aliran massa refrigeran akan berubah setelah beban *pcm* ditambahkan. Laju aliran massa ini akan mempengaruhi daya kompresor.

$$M_{ref} = \frac{Q_e}{h_1 - h_4} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

M_{ref} = Laju aliran massa refrigeran

Q_e = Beban evaporator

H_1 = entalpi 1

H_4 = entalpi 4

2.14. Perhitungan Biaya Pengadaan *Phase Change Material*

Biaya pengadaan berdasarkan volume *pcm* tersebut. Sehingga massa *pcm* perlu di kalikan dengan massa jenis agar di dapatkan volume.

$$Volume = massa / densitas \dots\dots\dots (2.12)$$

Sehingga:

$$Biaya = volume \times biaya PCM \text{ per liter } \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan:

$$Biaya pcm \text{ per liter} = 400 \text{ baht}^{22} = \text{Rp } 173811.48$$

2.15. Analisis Kriteria Investasi

Penambahan *phase change material* pada sistem refrigerasi akan berimplikasi pada penambahan modal investasi. Tujuan dari perhitungan kriteria investasi untuk mengetahui sejauh mana sebuah proyek dapat memberikan manfaat, dalam hal ini *financial benefit*. Berikut ini merupakan beberapa kriteria yang digunakan dalam mengukur kelayakan dari investasi *phase change material* tersebut.

1. Cost Benefit Analysis

Berikut ini merupakan keuntungan dari sisi pengeluaran dari pemanfaatan *phase change material* sebagai pendingin udara.

²² N. Chaayat & T. Kiatsisiroat, "Case Studies In Thermal Engineering", *Energy Reduction Of Building Air-Conditioner With Phase Change Material In Thailand*, 2014, 185

$$\text{Biaya} = \text{Kw komponen} \times \text{SFOC} \times \text{harga bahan bakar} \times \text{Rp to Usd} \dots (2.11)$$

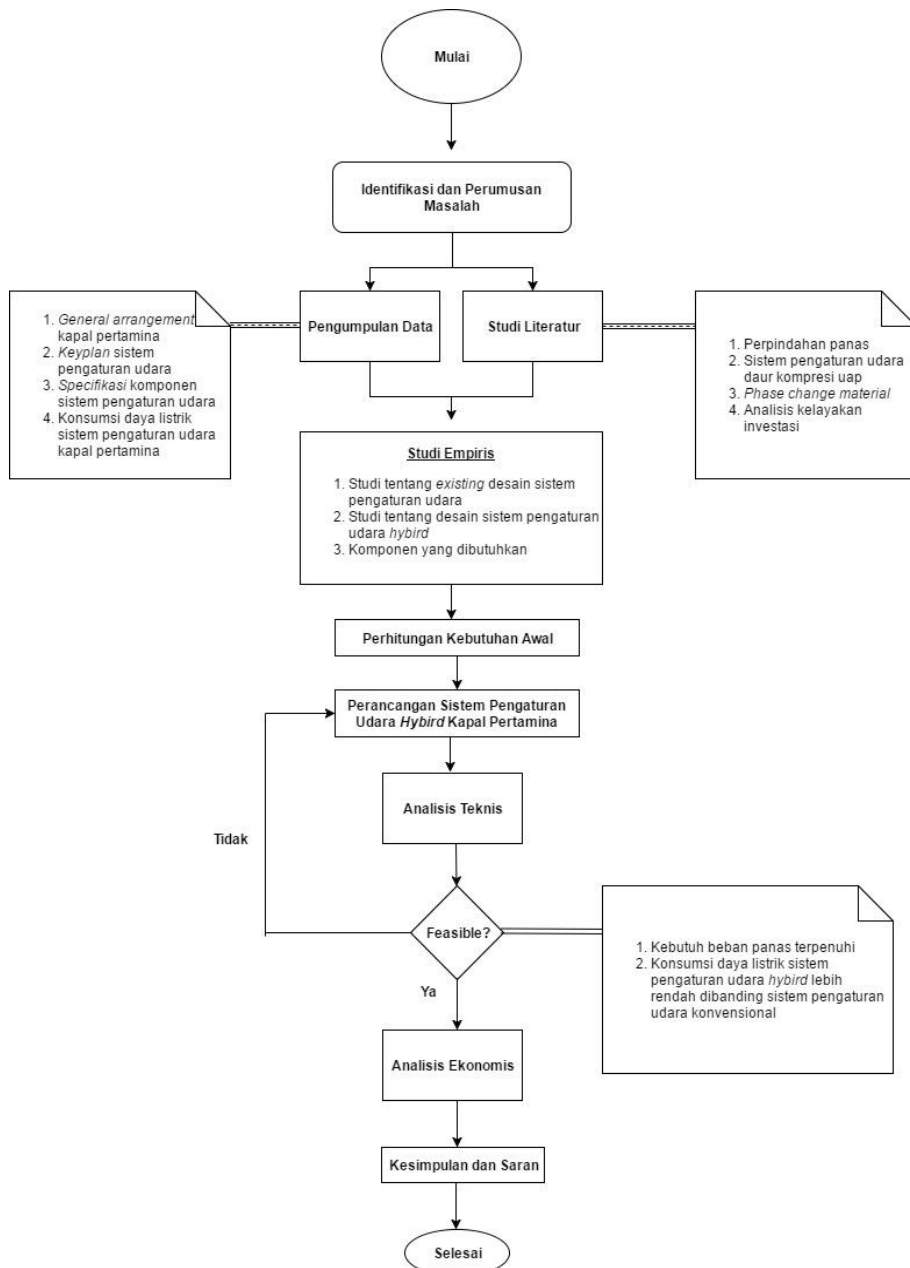
Dengan:

SFOC	= 194 gr/kwh
Harga bahan bakar (usd/gr)	= 0.000671 usd ²³
Rp to Usd	= Rp 14,000.00

²³ www.bunkerindex.com

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1: Metodologi Penelitian

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kapal

Nama Kapal	: X
L.O.A	: 183 M
L.B.P	: 175.5 M
Breadth Moulded	: 32.5 M
Depth Moulded	: 17.1 M
Design Draft Moulded	: 11 M
Tipe Kapal	: Crude Oil Tanker
Kapasitas	: 40,000 LTDW

4.2 Perhitungan Kebutuhan Awal

4.2.1 Penentuan *air conditioned room*

Penentuan ruangan yang dialiri *air conditioned* untuk keperluan perhitungan beban panas berdasarkan data dari kapal X tersebut.

APPROVED

PIR395-AC-02 Rev..Z_1216

HEAT LOAD SUMMARY AND AIR FLOW BALANCE

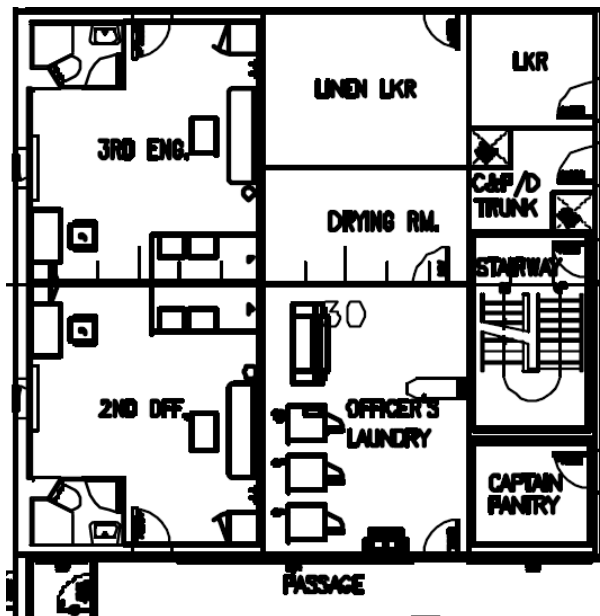
MAIN AC SYSTEM													
Room Name	Room Volume	People	Heat Load		A/C Supply Air			Return Air		Mech. Exh.	Natural, Exh.	Cooling Capacity	Heating Capacity
			SH	LH	Amount	Rate	Fresh Air	Amount	Amount	Amount	Amount	w	w
	m ³	P	w	w	m ³ /h	T/h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h		
NAV. DECK													
WHEELHOUSE(500)	279,9	4	13,594	200	4,058	14,5	2029	2,983	75	1000		47,233	-25,317
ELE.RM(505)	7,6	0	29	0	60	8,0	30	0	60	0		527	-302
PILOT(506)	22,9	1	866	50	256	11,2	128	181	75	0		3,012	-1,803
Sub-total	310	5	14,479	250	4,374		2,187	3,164	210	1,000		50,772	-27,423
FRESH AIR RADIO	0,5												
C DECK													
CN'ENG'S DAY RM(401)	44,9	4	1,045	200	360	8,0	180	360	0			4,207	-2,202
C/ENG'S BED RM(402)	27,9	1	769	50	230	8,2	115	155	75			2,710	-1,670
CAPTAIN DAY RM(403)	53,8	4	1,024	200	430	8,0	215	430	0			4,769	-2,536
CAPTAIN BED RM(404)	28,1	1	771	50	230	8,2	115	155	75			2,717	-1,555
C/OFFICE DAY RM(405)	44,9	4	1,258	200	375	8,4	188	375	0			4,551	-2,639
C/OFFICE BED RM(406)	21,2	1	714	50	213	10,1	107	138	75			2,521	-1,526
2ND ENG.DAY ROOM(407)	37,6	4	1,015	200	303	8,1	152	303	0			3,713	-2,004
4TH ENG.(409)	25,2	1	926	50	276	11,0	138	201	75			3,254	-2,056
LINEN LKR(414)	25,2	0	96	0	151	6,0	76	0	151			1,342	-756
DRYING ROOM(415)	18,9	0	72	0	113	6,0	57	0	113			1,006	-567
3RD/ENG.(417)	41,6	1	1,203	50	359	8,6	180	284	75			4,211	-2,776
2ND/OFF.(418)	41,6	1	1,203	50	359	8,6	180	284	75			4,211	-2,776
2ND ENG.BED RM(408)	18,7	1	705	50	210	11,3	105	135	75			2,488	-1,511
3RD OFFICE(419)	26,9	1	765	50	228	8,5	114	153	75			2,695	-1,630
OWNER(420)	28,4	1	938	50	280	9,9	140	205	75			3,296	-2,074
OFF.LAUNDRY(416)	44,1	0	168	0	440	10,0	220	0	440			3,802	-2,205
CAPTAIN PANTRY(413)	9,2	0	36	0	55	6,0	28	0	55			555	-280
Sub-total	538	25	12707	1250	4614		2307	3180	1434	0		52048	-30764
FRESH AIR RADIO	0,5												
B DECK													
FOREMAN RM(301)	26,7	1	564	50	168	6,3	84	93	75			2001	-1,124
ELECTRICIAN(302)	26,9	1	606	50	181	6,7	90	106	75			2,145	-1,201
PUMPMAN(303)	26,0	1	527	50	157	6,0	79	82	75			1874	-1,020
PUMPMAN(304)	25,2	1	527	50	157	6,2	79	82	75			1873	-1,019

Page 4 of 6

Gambar 4.1: Ruangan yang dialiri air conditioned

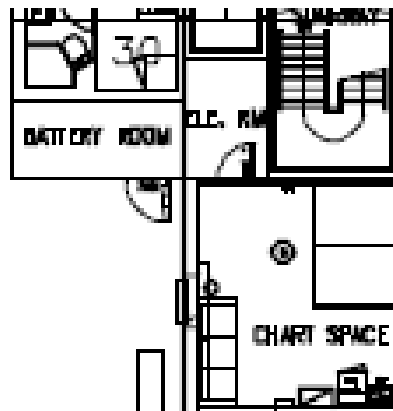
4.2.2 Perhitungan *heat transmission*

a. Perhitungan



Gambar 4.2: Ruangan yang berbatasan dengan officer laundry

Ruangan yang menjadi contoh perhitungan adalah officer laundry. *Officer laundry* berbatasan pada *stairway* dan *captain pantry* pada sisi depan, *drying room* pada sisi kiri, *passage/alleyway* pada sisi kanan, serta *2nd officer room* pada sisi belakang ruangan.



Gambar 4.3: Ruangan yang berbatasan dengan officer laundry pada sisi atas

Sisi atas ruangan, berbatasan dengan *elle room*, *battery room*, serta *chart space*. Dikarenakan perhitungan *heat transmission* antara ruangan

yang memiliki *air conditioned* dengan *non-air conditioned*, maka hanya heat transmission dengan *battery room* dan *chart space* yang dihitung.

Sisi bawah dari *officer laundry* berbatasan dengan *library & lounge room* yang merupakan ruangan *air conditioned*. Sehingga tidak perlu menghitung *heat transmission*. Sehingga perhitungannya menjadi:

Off Laundry (416)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ
Stairway (D)	8.4874	2.5	0	0	2	42.4368
Alleyway (N)	10.9123	2.5	0	0	2	54.5616
Battery Room (A)	0.83332	0.8	0	0	18	11.9998
Chart Space (A)	0.83332	0.8	0	0	18	11.9998
Lobby (A)	0.33333	0.8	0	0	18	4.79992
Total W =						125.798

Gambar 4.4: Perhitungan officer laundry

Pada perhitungan tersebut, ruangan tidak memiliki jendela sehingga kg dan ag bernilai 0. ΔT berdasarkan pada perbedaan temperatur antar ruangan. sedangkan kv berdasarkan *total heat transfer coefficient*

b. Total Heat transmission

Setelah menghitung *heat transmission* pada ruangan dari *upper deck* sampai *navigation deck*, didapatkan:

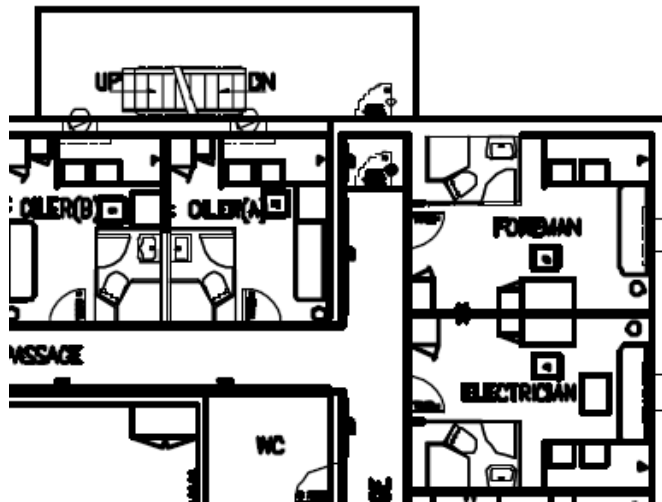
Tabel 4.1: Total heat transmission

TOTAL HEAT TRANSMISSION					
Upper Deck	4363.691	W	C Deck	1154.8309	W
A Deck	994.7706	W	Navigation Deck	1086.3524	W
B Deck	2347.429	W	TOTAL =	9947.0746	W
Jadi total heat transmission pada kapal ini ialah sebesar 9947.07 W atau 9.947 kW					

4.2.3 Perhitungan Solar Heat Gain

a. Perhitungan

Perhitungan solar heat gain hanya untuk ruangan yang berbatasan dengan *outdoor*. Ruangan yang digunakan sebagai contoh adalah *foreman room*.



Gambar 4.5: Foreman room

Foreman room berbatasan dengan outdoor pada sisi depan dan kiri ruangan. Sehingga perhitungan untuk ruangan tersebut:

Foreman RM (301)							Luasan Jendela	
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔTr	ϕ_s	A ₁ =	P x L
Outdoor (D)	10.3905	0.6	0.54661	350	16	291.063	A ₁ =	0.546611
Outdoor (I)	14.5829	0.6	0	0	16	139.996		
Alleyway (B)	0	2.5	0	0	0	0		
Total W =							431.059	

Gambar 4.6: Perhitungan solar heat gain foreman room

ΔTr pada *foreman room* yang berbatasan dengan *outdoor* bernilai 16^0 karena sinar matahari melalui *horizontal surfaces*. Gs pada *foreman* yang berbatasan dengan *outdoor* bagian kiri bernilai 0 karena tidak terdapat jendela.

b. Total Solar Heat Gain

Setelah menghitung *solar heat gain* pada ruangan dari *upper deck* sampai *navigation deck*, didapatkan:

Tabel 4.2: Total solar heat gain

TOTAL SOLAR HEAT GAIN					
Upper Deck	2155.873	W	C Deck	6046.691	W

A Deck	5332.739	W	Navigation Deck	3657.298	W
B Deck	4964.101	W	TOTAL	22156.7	W
Jadi total solar heat gain pada kapal ini ialah sebesar 22156.7 W atau 22.156 KW					

4.2.4 Perhitungan *Heat Gain From Person*

a. Perhitungan

Dengan mengalikan *sensible heat* dan *latent heat* dengan emisi, dapat diketahui *heat emissionnya*. Contoh:

No	Rooms	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)	Person Inside	Emmision (SH)	Emmision (LH)
Navigation Deck						
1	Wheel House (500)	70	50	4	280	200

Gambar 4.7: Perhitungan heat from person di wheel house

Jumlah orang diketahui dari data kapal X. Wheel house memiliki aktivitas yang ringan/*seat at rest* sehingga *sensible* dan *latent heat* bernilai 70 dan 50 watt. Setelah dikalikan, emisi pada saat *sensible heat* bernilai 280 dan pada saat *latent heat* bernilai 200.

a. Total Heat From Person

Setelah menghitung *heat from person* pada ruangan dari *upper deck* sampai *navigation deck*, didapatkan:

				Total (Watt) =	9570	10050
TOTAL PERSON HEAT (SH)						
Upper Deck	970	W				
A Deck	4540	W				
B Deck	1980	W				
C Deck	1750	W				
Navigation Deck	350	W				
TOTAL =	9570	W				
TOTAL PERSON HEAT (LH)						
Upper Deck	2020	W				
A Deck	6100	W				
B Deck	1400	W				
C Deck	1250	W				
Navigation Deck	250	W				
TOTAL =	11020	W				

Gambar 4.8: Total heat from person

4.2.5 Perhitungan *heat gain from lighting and other sources*

Dikarenakan menggunakan lampu FL, maka *heat gain* yang digunakan adalah pada jenis fluorescent. Nilai *heat gain* tersebut dikalikan dengan luas ruangan. Contoh:

No	Rooms	Area (m ²)	Without	Heat FL	Heat Gain
			Daylight	W/(m2)	(W)
Navigation Deck					
1	Wheel House (500)	96.18556701	0	20	1923.71134

Gambar 4.9: Perhitungan hat gain from general lighting pada wheel house

a. Total Heat Gain From General Lighting

Setelah menghitung *heat gain from general lighting* pada ruangan dari *upper deck* sampai *navigation deck*, didapatkan:

Tabel 4.3: Total heat gain from general lighting

TOTAL HEAT GAIN FROM GENERAL LIGHTING		
Upper Deck	1428.076183	W
A Deck	1257.620122	W
B Deck	1420.137008	W
C Deck	1506.469818	W
Navigation Deck	2012.783505	W
TOTAL =		7625.086635 W

4.2.6 Total Perhitungan Kebutuhan Awal

Total perhitungan kebutuhan awal dengan menambahkan setiap beban panas adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Total (SH)} &= \text{T. Heat Transmission} + \text{T. Solar Heat Gain} + \text{T. Person Heat (Sensible)} + \text{T. Light Heat} \\
 &= \mathbf{49298.863 \text{ W}} \\
 &= \mathbf{49.299 \text{ kW}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total (LH)} &= \text{T. Heat Transmission} + \text{T. Solar Heat Gain} + \text{T. Person Heat (Latent)} + \text{T. Light Heat} \\
 &= \mathbf{50748.863 \text{ W}} \\
 &= \mathbf{50.749 \text{ kW}}
 \end{aligned}$$

4.3 Sistem Pendinginan Udara *Existing*

Tipe Refrigeran	= R407 C
System Desain Pressure	= 22 Bar
Test Pressure (LP/HP)	= 22 Bar
PSV Set Pressure	= 27.6 Bar
Evaporating Temperature	= 5 ⁰ C in 5.58 bar
	= -43.6 ⁰ C in 1 atm
Condensing Temperature	= 44 ⁰ C in 15.79 bar

$$\begin{aligned} \text{Cooling Capacity} &= -36.6^0 \text{ C in 1 atm} \\ &= 240 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.4 Pemilihan Phase Change Material

Pemilihan *Phase Change Material* menggunakan 5 jenis *phase change material* dengan skenario 8 jam. Berikut ini merupakan jenis *phase change material* yang digunakan sebagai perbandingan:

1. Rubitherm RT – 4

<i>Phase Change Temperature</i>	$= 2^0 - 4^0 \text{ C}$
<i>Congealing Area</i>	$= 4^0 - 2^0 \text{ C}$
<i>Heat Storage Capacity</i>	$= 175 \text{ Kj/Kg}$
<i>Specific Heat Capacity</i>	$= 2 \text{ Kj/Kg.K}$

2. Rubitherm RT – 10

<i>Phase Change Temperature</i>	$= 4^0 - 10^0 \text{ C}$
<i>Congealing Area</i>	$= 10^0 - 4^0 \text{ C}$
<i>Heat Storage Capacity</i>	$= 160 \text{ Kj/Kg}$
<i>Specific Heat Capacity</i>	$= 2 \text{ Kj/Kg.K}$

3. Rubitherm RT – 15

<i>Phase Change Temperature</i>	$= 10^0 - 17^0 \text{ C}$
<i>Congealing Area</i>	$= 17^0 - 10^0 \text{ C}$
<i>Heat Storage Capacity</i>	$= 155 \text{ Kj/Kg}$
<i>Specific Heat Capacity</i>	$= 2 \text{ Kj/Kg.K}$

4. Rubitherm RT – 22 HC

<i>Phase Change Temperature</i>	$= 20^0 - 23^0 \text{ C}$
<i>Congealing Area</i>	$= 23^0 - 20^0 \text{ C}$
<i>Heat Storage Capacity</i>	$= 190 \text{ Kj/Kg}$
<i>Specific Heat Capacity</i>	$= 2 \text{ Kj/Kg.K}$

5. Rubitherm RT – 25

<i>Phase Change Temperature</i>	$= 22^0 - 26^0 \text{ C}$
<i>Congealing Area</i>	$= 26^0 - 22^0 \text{ C}$
<i>Heat Storage Capacity</i>	$= 170 \text{ Kj/Kg}$
<i>Specific Heat Capacity</i>	$= 2 \text{ Kj/Kg.K}$

4.5 Perhitungan Massa Phase Change Material

Sebelum menghitung massa *phase change material*, terlebih dahulu hitung kalor beban dengan cara mengalikan daya dengan waktu kerja *phase change material* yang direncanakan. Pada perhitungan ini akan diambil skenario *phase change material*:

Rubitherm RT – 25

<i>Phase Change Temperature</i>	= 22 ⁰ - 26 ⁰ C
<i>Congealing Area</i>	= 26 ⁰ - 22 ⁰ C
<i>Heat Storage Capacity</i>	= 170 Kj/Kg
<i>Specific Heat Capacity</i>	= 2 Kj/Kg.K
Waktu pemakaian	= 8 jam
<i>Density</i>	= 0.88 kg/l

Sehingga, di dapatkan:

$$Q_{load} = 240 \text{ kj/s} = 240 \text{ kj/s} * 8 * 3600 \text{ s}$$

$$= 6,912,000 \text{ kj}$$

Kemudian menghitung kandungan kalori dalam pcm:

$$F = (L + CP * DELTA T) \dots\dots\dots (4.1)$$

Di dapatkan:

$$F = (170 \text{ kj/kg} + 2 \text{ kj/kg.K} * 26^0 - 22^0 \text{ C})$$

$$= 206 \text{ kj/k}$$

Setelah mendapatkan kalor beban, mencari massa yang dibutuhkan dengan rumus:

$$Q = M \times L \dots\dots\dots (4.2)$$

Sehingga di dapatkan:

$$Q = M \times L$$

$$6,912,000 \text{ kj} = m \times 206 \text{ kj/kg}$$

$$M = 35,022 \text{ Kg}$$

4.6 Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran tanpa *Phase Change Material*

a) Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran Tanpa PCM

Daya kompresor kapal tersebut adalah 69.2 Kw. Dalam menghitung daya pada saat menggunakan *phase change material*, perlu diketahui laju aliran massa refrigeran dengan rumus:

$$M_{ref} = \frac{P_{comp}}{H_2 - H_1} \dots\dots\dots (4.3)$$

Keterangan:

M_{ref}	= Laju aliran massa refrigeran
Q_{load}	= Kalor Beban
h_1	= Entalpi 1
h_2	= Entalpi 2

Sehingga di dapatkan:

$$\begin{aligned}
 M_{ref} &= P_{comp}/h_2-h_1 \\
 &= 69.2 \text{ kW} / 432.8 \text{ kJ/kg} - 424.1 \text{ kJ/kg} \\
 &= 7.9540 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

b) Perhitungan Daya di Evaporator

$$\begin{aligned}
 Q_e &= m_{ref} \times (h_1-h_4) \\
 &= 7.9540 \text{ kg/s} \times (424.1 - 263.4) \\
 &= 1,278 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.7 Perhitungan Daya Kompresor menggunakan *Phase Change Material*

a. Perhitungan Q PCM

Perhitungan Q PCM digunakan untuk mengetahui kalor yang dibutuhkan untuk mendinginkan PCM.

$$Q = m.c.(t_2 - t_1) + (m.L) \dots\dots\dots(4.4)$$

Keterangan:

Q = Kalor
 M = Massa PCM
 C = Kalor spesifik
 T2 = Suhu akhir
 T1 = Suhu awal
 L = Kalor Laten

Pada rumus tersebut, perlu dibagi dengan waktu penggunaan pcm untuk mengetahui kalor per sekon. Sehingga, di dapatkan:

$$\begin{aligned}
 Q_{pcm} &= m.c.(t_2-t_1) + (m.L)/s \\
 &= 35,022 \text{ kg} \times 2 \text{ kJ/kg} (308^0 \text{ C}-278^0 \text{ C}) + (35,022 \text{ kg} \times 170 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 8,055,128 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

4.8 Perhitungan Waktu Pendinginan Ruangan Sistem Existing

Berikut ini merupakan perhitungan waktu pendinginan ruang hingga mencapai suhu 25°C:

$$P = Q/T \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\begin{aligned}
 1,278 \text{ kW} &= 240 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} \times 3600 \text{ detik} / T \\
 T &= 16,223 \text{ detik} \\
 &= 4.51 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

4.9 Perhitungan Waktu Pendinginan PCM dan Ruangan

$$\begin{aligned}
 P &= Q/T \\
 1,278 \text{ kW} &= 240 \text{ kW} * 24 \text{ jam} * 3600 \text{ detik} + 8,055,128 \text{ kJ} \\
 &= 22,525 \text{ detik} \\
 &= 6.26 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

4.10 Perhitungan Daya PCM

$$\begin{aligned} P &= Q/T \\ &= 6,912,000 \text{ kj} / 8 \text{ jam} * 3600 \text{ detik} \\ &= 240 \text{ Kj/s} \end{aligned}$$

4.11 Perhitungan Waktu Pendinginan Ruangan Sistem Hybird

$$\begin{aligned} P &= Q/T \\ 1278 \text{ kW} + 240 \text{ kW} &= 240 * 24 * 3600 / T \\ T &= 13,658 \text{ S} \\ &= 3.79 \text{ jam} \end{aligned}$$

4.12 Perhitungan Q di Evaporator Sistem Hybird

Perhitungan Q di evaporator di perlukan untuk mengetahui pengurangan beban kalor setelah penambahan pcm:

$$Q_e = Q_{ref} - Q_{pcm} \dots\dots\dots (4.6)$$

Keterangan :

Q_e = Beban kalor di evaporator

Q_{ref} = Beban refrigeran sebelum penambahan *phase change material*

Q_{pcm} = Beban *phase change material*

Sehingga, di dapatkan:

$$\begin{aligned} Q_e &= Q_{ref} - Q_{pcm} \\ &= 1,278 \text{ kj/s} - 240 \text{ kj/s} \\ &= 1,038 \text{ kj/s} \end{aligned}$$

4.13 Perhitungan Laju Aliran Massa refrigeran dengan Penambahan PCM

Laju aliran massa refrigeran akan berubah setelah *pcm* ditambahkan. Laju aliran massa ini akan mempengaruhi daya kompresor.

$$M_{ref} = \frac{Q_e}{h_1 - h_4} \dots\dots\dots (4.7)$$

Keterangan:

M_{ref} = Laju aliran massa refrigeran

Q_e = Beban evaporator

H_1 = entalpi 1

H_4 = entalpi 4

Sehingga, di dapatkan:

$$\begin{aligned} M_{ref} &= Q_e / h_1 - h_4 \\ &= 1,038 \text{ kj/s} / 424.1 \text{ kj/kg} - 263.4 \text{ kj/kg} \\ &= 6.46056 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

4.14 Perhitungan Ulang Daya Kompresor Sistem Hybrid

Daya kompresor perlu dihitung sebagai parameter dalam pemilihan *phase change material*. Daya yang lebih rendah dibandingkan tanpa menggunakan *phase change material* akan dipilih. Menghitung daya kompresor dengan rumus:

$$W_{comp} = m_{ref} \times (h_2 - h_1) ; (kW) \dots\dots\dots (4.8)$$

Keterangan:

W_{comp}	= Daya kompresor
m_{ref}	= Laju aliran massa refrigeran
H_2	= Entalpi 2
H_1	= Entalpi 1

a. W_{comp} (PCM discharging) :

Sehingga, di dapatkan:

$$\begin{aligned} W_{comp} &= m_{ref} \times (h_2 - h_1) ; (kW) \times \text{Waktu Operasi PCM} \\ &= 6.46056 \text{ kg/s} \times (432.8 \text{ kJ/kg} - 424.1 \text{ kJ/kg}) \times 8 \text{ jam} \\ &= 56.206 \text{ kJ/s} \times 8 \text{ jam} = 449.65 \text{ kWh} \end{aligned}$$

b. W_{comp} (PCM charging) :

$$\begin{aligned} W_{comp} &= m_{ref} \times (h_2 - h_1) ; (kW) \times \text{Waktu pendinginan PCM} \\ &= 7.954 \text{ kg/s} \times (432.8 \text{ kJ/kg} - 424.1 \text{ kJ/kg}) \times 6.26 \text{ jam} \\ &= 69.19 \text{ kJ/s} \times 6.26 \text{ jam} = 432.97 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Pada perhitungan tersebut dapat dilakukan 2 kali proses charging dan discharging dalam waktu 1 hari. Oleh sebab itu daya kompresor menjadi:

$$\begin{aligned} \text{a. } W_{comp} \text{ (PCM discharging)} &= 56.206 \text{ kJ/s} \times (8 \text{ jam} + 3.48 \text{ jam}) \\ &= 645.2545812 \text{ kW} \\ \text{b. } W_{comp} \text{ (PCM charging)} &= 69.2 \text{ kJ/s} \times (6.26 \text{ jam} \times 2) \\ &= 866.38 \text{ kW} \\ \text{Total} &= 1,511.64 \text{ kW} \end{aligned}$$

Biaya konsumsi listrik per hari dihitung berdasarkan SFOC dengan:

$$\begin{aligned} \text{SFOC} &: 194 \text{ gr/kWh} \\ \text{Harga Bahan Bakar (USD/GR)} &: 0.000671 \text{ USD/g} \end{aligned}$$

Sehingga, di dapatkan:

$$\begin{aligned} \text{Biaya listrik} &= \text{kWh} \times \text{SFOC} \times \text{harga bahan bakar} \\ &= 1,511.64 \text{ kWh} \times 194 \text{ gr/kWh} \times 0.000671 \text{ USD/g} \\ &= 2,217,999 \text{ IDR} \end{aligned}$$

4.15 Perhitungan Biaya Pengadaan *Phase Change Material*

Biaya pengadaan berdasarkan volume *pcm* tersebut. Sehingga massa *pcm* perlu di kalikan dengan massa jenis agar di dapatkan volume.

$$\text{Volume} = \text{massa} / \text{densitas} \dots\dots\dots (4.8)$$

Sehingga, di dapatkan:

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= 35,022 \text{ kg} / 0.88 \text{ kg/l} \\ &= 39,798 \text{ liter}\end{aligned}$$

Harga 1 liter *phase change material* adalah 400 Baht²⁴ (173,811.48 IDR). Sehingga harga *phase change material*:

$$\begin{aligned}\text{Biaya} &= 39,798 \text{ liter} \times 173,811.48 \text{ IDR} \\ &= 6,917,360,003 \text{ IDR}\end{aligned}$$

4.16 Phase Change Material yang Dipilih

Setelah melakukan perhitungan tersebut pada setiap skenario, maka di dapatlah data sebagai berikut:

WAKTU PCM	Jenis PCM	Volume	KWH	KWH TANPA	Biaya PCM	Biaya Konsumsi	Total Biaya (Konsumsi Listrik + PCM)	Feasibilitas	Urut Total Biaya
8 JAM	RT - 4	44,833	1,518	1,661	7,801,200,972	2,228,036	7,803,429,009	Feasible	6,919,577,875
	RT - 10	46,532	1,517	1,661	8,087,737,975	2,225,772	8,089,963,747	Feasible	7,274,804,738
	RT - 15	44,598	1,514	1,661	7,751,590,791	2,221,044	7,753,811,835	Feasible	7,753,811,835
	RT - 22 HC	39,798	1,511	1,661	7,272,587,738	2,217,000	7,274,804,738	Feasible	7,803,429,009
	RT - 25	39,798	1,512	1,661	6,917,360,003	2,217,872	6,919,577,875	Feasible	8,089,963,747

Gambar 4.10: Data perbandingan PCM tiap skenario

Berdasarkan data tersebut, terpilih *phase change material*:

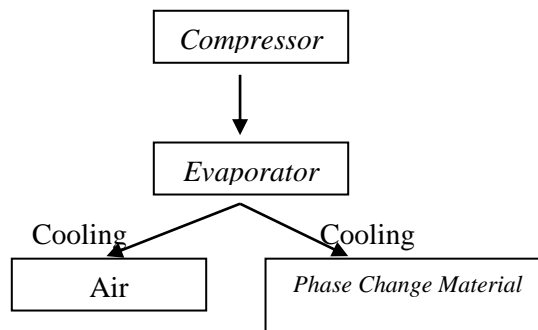
Tipe	: RT – 25
Waktu Operasional	: 8 Jam
Volume	: 39,798 liter
Kwh	: 1,512 kwh
Biaya pcm	: 6,917,360,003 IDR
Biaya konsumsi listrik/hari	: 2,217,872 IDR
Total Biaya	: 6,919,577,875 IDR

4.17 Analisis Teknis

A. Cara Kerja Sistem Pendingin Udara dengan Menggunakan *Phase Change Material*

1. *Charging Operation Phase Change Material*

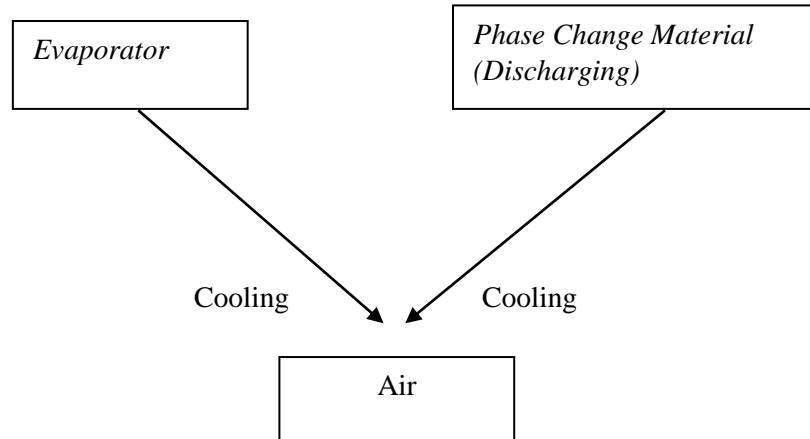
²⁴ N. Chaayat & T. Kiatsisiroat, "Case Studies In Thermal Engineering", *Energy Reduction Of Building Air-Conditioner With Phase Change Material In Thailand*, 2014, 185



Gambar 4.11: Sistem kerja pendingin udar saat charging

Pada proses *charging*, evaporator akan memiliki dua beban pendinginan yaitu udara dan *phase change material*. Udara yang di dinginkan oleh refrigeran di evaporator dari suhu 35°C menuju 25°C akan di alirkan menuju ruangan. Sementara itu, *phase change material* di dinginkan oleh refrigeran di evaporator dari suhu kamar yaitu 35°C menuju suhu evaporasi refrigeran yaitu 5°C . Proses ini akan berlangsung selama 6.26 jam. Dalam 1 hari, dapat dilakukan dua kali proses charging sehingga charging dalam 1 hari selama 12.52 jam.

2. *Discharging Operation Phase Change Material*



Gambar 4.12: Sistem kerja pendingin udara dengan PCM saat discharging

Pada proses *discharging*, evaporator dan *phase change material* akan mendinginkan udara yang akan dialirkan menuju ruangan. Pada proses ini, sistem memanfaatkan kalor laten dari *phase change material* untuk mendinginkan udara dari suhu 35°C menuju 25°C . Proses ini akan berlangsung selama 8 jam. Dalam 1 hari dapat melakukan 2 kali discharging. Sehingga total dalam 1 hari dapat melakukan 11.49 kali proses discharging (8 jam dan 3.49 jam).

A. Penghematan Daya Listrik

Sistem pendingin udara dengan menggunakan *phase change material* membutuhkan daya listrik sebesar 1512 kwh setiap harinya. Berbeda dengan sistem pendingin udara konvensional yang membutuhkan daya listrik sebesar 1660 kwh setiap harinya. Penghematan konsumsi daya listrik dengan menggunakan *phase change material* sebesar 149 kwh setiap harinya.

4.18 Analisis Ekonomis

1. Biaya Instalasi

Pengadaan *phase change material* walaupun memberikan penghematan dari sisi konsumsi daya listrik, memberikan konsekuensi tambahan biaya untuk pengadaan *phase change material*. Berikut ini merupakan tambahan biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan *pcm*:

Biaya Instalasi						
No.	Jenis Biaya	Spesifikasi	Kuantitas	Satuan	Biaya/Satuan (Rp)	Biaya (Rp)
<i>Phase Change Material</i>						
1	Phase Change Material	1. RT - 25 2. Phase Change Temperature = 22 - 26 C	39,798	liter	173,811	6,917,349,281.04
Total =						6,917,349,281

Gambar 4.13: Biaya Instalasi

2. Cost Benefit Analysis

Berikut ini merupakan keuntungan dari sisi pengeluaran dari pemanfaatan *phase change material* sebagai pendingin udara.

- **Tanpa Menggunakan PCM**

Dengan:

SFOC	= 194 gr/kwh
Harga bahan bakar (usd/gr)	= 0.000671 usd ²⁵
Rp to Usd	= Rp 14,000.00

Tabel 4.4: Konsumsi listrik tanpa PCM

No	Komponen	Kw	Waktu Operasional	Kebutuhan bahan bakar (gr)	Biaya (Rp)
1	Kompresor	69.2	24	322,195	3,026,701.71
2	Fan	19.7	24	91,723	861,647.74
				Total	3,888,349.45

²⁵ www.bunkerindex.com

- Menggunakan *PCM*

Dengan:

SFOC = 194 gr/kwh
 Harga bahan bakar (usd/gr) = 0.000671 usd
 Rp to Usd = Rp 14,000.00

Tabel 4.5: Konsumsi listrik menggunakan PCM

No	Komponen	Kw	Waktu Operasional PCM (Jam)	SFOC (gr/kwh)	Kebutuhan bahan bakar (gr)	Harga Bahan Bakar (USD/GR)	Biaya (Rp)
1	Kompresor (Discharging process)	56.2	11.49	194	125,273	0.000671	1,176,816.18
2	Kompresor (Charging process)	69.2	12.51	194	167,944	0.000671	1,577,668.27
2	Fan	19.7	24	194	91,723	0.000671	861,647.74
						Total	3,616,132.18

Penghematan / hari = 272,217.27

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan dengan menggunakan 5 jenis *phase change material*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem pendinginan udara di kapal pertamina memiliki beban panas total sebesar 50.749 kw. Beban panas total ini terdiri dari *total heat transmission*, *total solar heat gain*, *total person heat*, serta *total light heat*. Dengan beban panas tersebut, *phase change material* yang dipilih pada perancangan ini adalah Rubitherm RT-25 dengan waktu operasional selama 8 jam serta *congealing area* pada suhu 26^0 - 22^0 C. Konsumsi daya listrik dengan sistem pendingin udara ini sebesar 1,512 kwh/hari. Konsumsi daya listrik dengan menggunakan pcm lebih kecil dibandingkan konvensional yang memakan konsumsi daya listrik sebesar 1,660 kwh.
2. Pengeluaran untuk sistem pendingin udara konvensional per harinya adalah sebesar Rp 3,888,349.45. Selain itu, pengeluaran untuk sistem pendingin udara menggunakan *phase change material* sebesar Rp 3,616,132.18. Penghematan yang dilakukan dengan memanfaatkan pcm sebesar Rp 272,217.27 per hari.

5.2 Saran

Berdasarkan perancangan tersebut, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan, yaitu:

1. Pemilihan *phase change material* dapat di skenariokan dengan berbagai tingkatan waktu operasional (2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam, 12 jam) untuk mengetahui waktu operasi yang paling efisien dalam penggunaan sistem pendinginan udara *hybird*.
2. Untuk mengetahui perpindahan panas yang efisien antara refrigeran dan *phase change material*, dapat dilakukan percobaan peletakan antara *phase change material* dan evaporator.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Analysis of a Vapor-Compression Refrigeration Cycle*. Diambil kembali dari Maplesoft: <https://www.maplesoft.com/support/help/maple/view.aspx?path=applications%2FRefrigerationCycle>
- Bunker Index MDO*. Diambil kembali dari Bunker index. www.bunkerindex.com
- Chaiyat, N & Kiatsisiroat, T. 2014. *Energy Reduction Of Building Air-Conditioner With Phase Change Material In Thailand*. Case Studies In Thermal Engineering.
- Haryowidagdo, H. 2017. Kajian Teknis dan Ekonomis Perancangan Reefer Container Berbasis Teknologi Phase Change Material Untuk Aplikasi di Kapal.
- PCM: Pilihan Energi Rantai Dingin*. (2008, Nopember 1). Diambil kembali dari Trobos: <http://www.trobos.com/detail-berita/2008/11/01/77/1294/pcm-pilihan-energi-rantai-dingin>
- Pita, E. 1984. *Refrigeration Principles and System*. Kanada: John Wiley & Sons.
- Stoecker, W. F & Jones, J.W. 1994. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Jakarta: Erlangga.
- J.P. Holman. 1994. *Perpindahan Kalor*. Erlangga.
- Rubitherm*. Diambil kembali dari <https://www.rubitherm.eu/index.php/produktkategorie/organische-pcm-rt>
- ISO. 2002. Ships and marine technology — Air-conditioning and ventilation of accommodation spaces — Design conditions and basis of calculations

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

1. Sistem Pendingin Udara Konvensional Kapal Pertamina



Doc No.: PJR395-AC-02 Rev. Z

Part II HVAC SYSTEM SPECIFICATION AND SCOPE OF SUPPLY

1.1 MAIN AIR CONDITIONING SYSTEM FOR ACCOMMODATION

Condensing unit:	Fresh Water cooled Condensing Unit (2 X 100%)
Air Handling Unit	Air Handling Unit (2 X 100%)
Model:	MCU-FX18/315
Refrigerant:	R407C
Cooling Method:	Direct Expansion
Heating Method:	By Steam
Humidifying Method:	By Steam
Ventilation Method:	High Pressure Single Duct System
Operation Method:	
a.	Cooling Operation in summer
b.	Dehumidifying Operation in summer
c.	Heating Operation in winter
d.	Humidifying in winter
e.	Ventilating in Intermediate climate

The air Conditioning System shall be of single duct and central cooling / heating system for cabins and public rooms,

The Main AC system comprises of two (2) set of Air Handling Units with each of 100% total cooling capacity and two Condensing Units with each of 100% of total cooling capacity,

Condensing units running with R407C. The unit can be running after connecting cooling fresh water and electrical power. Each condensing unit is furnished with one BOCK compressor, horizontal fresh water cooled shell and tube condenser, drier & filter and all the other necessary fittings etc,

Each one Air Handling Unit shall be capable of providing 100% of total cooling capacity required, which include filtering section (Removable and re-usable type) , heating section, R407C direct expansion cooling section (heating and cooling coil shall be copper tube/aluminum fin type), humidifying section, air handling unit ventilation fan/blower section. The air conditioning unit ventilation blower is to be of belt-driven, dual inlet, centrifugal type. The fan and driven motor are mounted on a sturdy frame which is resiliently isolated from the casing with vibration dampers. In summer the condensate water from the air conditioner is to be drained to the scupper located in air conditioning unit room via U trap as shown in schematic drawing,

Single spiral duct shall be arranged in order to conduct conditioned air from the central air handling unit to ceiling type air diffusers c/w plenum box in cabins, the supply air quantity of the each room air diffusers can be adjusted manually. Spot cooling area shall be provided with punkah-louvers,

A) Cooling Operation

When ambient air passing through the AHU R407C direct expansion cooling coil, it will be cooled by means of the liquid refrigerant evaporating in DX cooling coil,

Condensing Unit may start/stop automatically via suction pressure sensor after initial start. Suction pressure will be varied with the status of inside air and outside air.

B) Heating Operation

In winter, steam heating is controlled automatically with sensing return air temperature; Manual operation is also available for electrical heater via manual button. The ambient air shall be heated to reach desired room temperature 20 degree C,



Doc No.: P/R395-AC-02 Rev. 2

C) Humidifying Operation

In winter, the humidifier will be operated for controlling the RH of room air to build up more comfort environment. It can be controlled automatically by humidistat installed on return air duct; it also can be manually operated by by-pass gate valve.

D) Ventilation Operation

The air conditioning system ventilation ducting is designed to providing 50% fresh air ventilation to accommodation area in all climates.

Safety Devices for Condensing Unit

- a. High Pressure Switch (Manual Reset on HMI)
- b. Low Pressure Switch (Manual Reset on HMI)
- c. Water Pressure Switch (Manual Reset on HMI)
- d. Safety Valve (OEM Setting)

S/No	Safety Devices	Cut In Press	Cut Out Press	Remarks
1	High pressure switch	Manual reset	22 Kg/cm ²	PLC CONTROL
2	Low pressure switch	4.5 Kg/cm ²	2.5 Kg/cm ²	PLC CONTROL
3	Oil pressure Differential switch	Manual reset	1.0 Kg/cm ²	PLC CONTROL
4	Water pressure switch	>0.8 Kg/cm ²	<0.5 Kg/cm ²	PLC CONTROL
5	Pressure Relief Valve	—	27.5Kg/cm ²	OEM Setting

Painting Color: Marker Standard MUNSSELL 7.5BG7/2.

ENGINE CONTROL ROOM PACKAGE AIR CONDITIONER (2 UNIT)

To supply two (2) units of Fresh water cooled package air conditioner for ECR, Units shall be designed on the basis of 45 degree C E/R temperature and 35 degree C outside air temperature to keep the inside ECR temperature at desired level.

The units are self-contained type, only requires cooling water and electrical hook before operation, Air supply shall be free blow type.

Supply ampere meter and run hour timer, And fault signal to ECR

WHEELHOUSE PACKAGE AIR CONDITIONER (1 UNIT)

To supply one (1) unit of air cooled type package air conditioner for Wheelhouse, Unit shall be designed on the basis of 45 degree C E/R temperature and 35 degree C outside air temperature to keep the inside wheelhouse temperature at desired level.

Air supply shall be free blow type.

Supply ampere meter and run hour timer, And fault signal to ECR

GALLEY PACKAGE AIR CONDITIONER (1 UNIT)

To supply one (1) unit of Fresh water cooled package air conditioner for Galley, Unit shall be designed on the basis of 45 degree C E/R temperature and 35 degree C outside air temperature to keep the inside Galley temperature at desired level.

The unit is self-contained type and requires only cooling water and electrical hook before operation, Air supply shall be duct connection type.

Supply ampere meter and run hour timer, And fault signal to ECR

1.2 Main Air Conditioning System Condensing Unit (100% x 2 Units)

Main air conditioning system equipment to consist of two (2) condensing units for the main AC system, each condensing unit is designed to provide 100% cooling capacity required by the main air conditioning system.

Each Condensing unit is fitted on base skid with Bock open reciprocating compressor and one unit of fresh water cooled condenser, oil separator, gas dryer and suction accumulator etc. The condensing unit shall be fully assembled with all necessary fittings and accessories before delivery.

Each Condensing Unit has the following features: (100% x 2 Units)

Compressor:

Make/Brand: BOCK Open-Reciprocating

Capacity: 240 kW

E.T: 5 °C

C.T: 44 °C

BHP: 61,9 kW

Revolution: 1740rpm

Refrigerant: R407C

Voltage: 440V/3Ph/60Hz

Capacity Regulation: 25%-50%-75%-100%

Open type compressor with electric motor driven

Motor Class: IP54, F Class

Compressor shall be completed with service stop valves, crankcase heater and automatic capacity regulating mechanism.

Fresh water cooled condenser

Model: CIR315

Type: Horizontal Shell and Tube Type

Heat Rejection: 313kW

Water flow Rate: 67cmh

Condensing Temp: 44 °C

Fresh water inlet temp.: 36 °C

Cooling water inlet/outlet: DN100

Pressure drop: 0,03Mpa

Condenser material:

Shell: Seamless Steel pipe

Cover: Cast iron with inside tar epoxy coating

Tube: Copper

Tube plate: Steel with PVC coating

Cooling Water Connection: flange connection, completed with ISO standard counter flanges

The marine Fresh water cooled condenser completed with built-in receiver, condenser to be fitted with stop valve, purge valve and safety valve

- Suction Accumulator is to be fitted on condensing unit
- One set of drier and filter completed with stop valve, sight glass and charging valve to be fitted on refrigerant liquid line
- One set of gauge panel comprises of the following:
 - High / Low / Oil pressure switches (DANFOSS)
 - High / Low / Oil pressure gauge

Fitted with necessary stop valves for switches and gauges

- Compressor internal fitted service stop valve for discharge and suction line
- Fitted with automatic capacity regulation mechanism
- Compressor unit to be provided with vibration isolator
- Condensing unit to be fitted with cooling water temperature gauge at inlet/outlet
- Condensing unit to be fitted with water pressure switch
- Fitted with terminal block for electrical termination
- Two compressors running indication to ECR

Condensing unit to be completed with internal piping and all necessary components, Unit is functioning tested and pressure / vacuum tested before delivery.

Cooling water connecting hose and foundation vibration isolator shall be supply by maker,

Air Handling Units (100% x 2 Units)

To supply two (2) central air-handling units running with R407C direct expansion, Each AHU has 100% cooling load required by whole system, AHU is designed to provide conditioned air by high pressure/velocity single duct ventilation system. The return of air is from passageway, which collects air from each door louver.

EACH AHU TECHNICAL FEATURES: (2X100%)

Maker:	SINTEX
Model:	MAU-20DHH
Type:	Horizontal, High pressure, Single duct type
Cooling Capacity:	240 kW
Fan type:	Centrifugal fan, DIDW
Air volume:	20000 CMH
Fresh Air Ratio:	50%
Fan TSP:	2400 Pa
External Static Press:	1800 Pa
Motor Type:	Squirrel cage Induction type
Fan Motor:	17.3kW
Motor Power source:	440V-3Ph-60Hz
IP/Insulation:	IP55 / F
Poles / Revolution:	4 poles / 1750rpm
Driven mechanism:	Belt driven
Motor to be completed with space heater	
Heating Capacity:	160 kW
Heating Method:	By steam
Steam heating cons:	270 kg/h
Humidifying Method:	Steam
Humidifying capacity:	70 kg/h

AHU shall be completed with:

- Centrifugal fan with motor and belt driven mechanism
- Filter section fitted with washable filters
Removable primary dust filter, synthetic fiber material
- Air handling unit to be insulated with internal thermal/acoustic insulation
- Steam heating is controlled by package electrical control valve, which can sensing return air temperature and control the steam flow automatically

APPROVED

HEAT LOAD SUMMARY AND AIR FLOW BALANCE

MAIN AC SYSTEM

Room Name	Room Volume m³	People		Heat Load		A/C Supply Air			Return Air		Mech. Exh. Amount m³/h	Natural Exh. Amount m³/h	Cooling Capacity w	Heating Capacity w
		SH	P	SH	LH	Amount m³/h	Rate l/h	Fresh Air m³/h	Amount m³/h					
	m³			w	w									
NAV. DECK														
WHEELHOUSE(500)	279.9	4		13,594	200	4,058	14.5	2029	2,983	75		1000	47,233	-25,317
BLE RM(505)	7.6	0		29	0	60	8.0	30	0	60		0	527	-302
PILOT(506)	22.9	1		856	50	256	11.2	128	181	75		0	3,012	-1,803
Sub-total	310	5		14,479	250	4,374		2,187	3,164	210		1,000	50,772	-27,423
FRESH AIR RADIO														
	0.5													
C DECK														
CNENG'S DAY RM(401)	44.9	4		1,045	200	360	8.0	180	360	0			4,207	-2,202
CNENG'S BED RM(402)	27.9	1		769	50	230	8.2	115	155	75			2,710	-1,670
CAPTAIN DAY RM(403)	53.8	4		1,024	200	430	8.0	215	430	0			4,769	-2,536
CAPTAIN BED RM(404)	28.1	1		771	50	230	8.2	115	155	75			2,717	-1,565
C/OFFICE DAY RM(405)	44.9	4		1,258	200	375	8.4	188	375	0			4,551	-2,638
C/OFFICE BED RM(406)	21.2	1		714	50	213	10.1	107	138	75			2,521	-1,526
2ND ENG.DAY ROOM(407)	37.6	4		1,015	200	303	8.1	162	303	0			3,713	-2,004
4TH ENG.(408)	25.2	1		926	50	276	11.0	138	201	75			3,254	-2,056
LINE LKR(414)	25.2	0		96	0	151	6.0	76	0	151			1,342	-758
DRYING ROOM(415)	18.9	0		72	0	113	6.0	57	0	113			1,006	-567
3RD ENG.(417)	41.6	1		1,203	50	359	8.6	180	284	75			4,211	-2,776
2ND OFF.(418)	41.6	1		1,203	50	359	8.6	180	284	75			4,211	-2,776
2ND ENG.BED RM(408)	18.7	1		705	50	210	11.3	105	135	75			2,488	-1,511
3RD OFFICE(419)	26.9	1		765	50	228	8.5	114	153	75			2,895	-1,630
OWNER(420)	28.4	1		938	50	280	9.9	140	205	75			3,296	-2,074
OFF.LAUNDRY(416)	44.1	0		168	0	440	10.0	220	0	440			3,802	-2,205
CAPTAIN PANTRY(413)	9.2	0		36	0	55	6.0	28	0	55			555	-280
Sub-total	538	25		12,707	1,250	4,614		2,307	3,180	1,434		0	52,048	-30,764
FRESH AIR RADIO														
	0.5													
B DECK														
FOREMAN RM(301)	26.7	1		564	50	168	6.3	84	93	75			2,001	-1,124
ELECTRICIAN(302)	26.9	1		606	50	181	6.7	90	106	75			2,145	-1,201
PUMPMAN(303)	26.0	1		527	50	157	6.0	79	82	75			1,874	-1,020
PUMPMAN(304)	25.2	1		527	50	157	6.2	79	82	75			1,873	-1,019



PIR305-AC-02 Rev.:Z_1216

HEAT LOAD SUMMARY AND AIR FLOW BALANCE

MAIN AC SYSTEM

Room Name	Room Volume	People	Heat Load		A/C Supply Air		Return Air	Mech. Ext.	Natural Ext.	Cooling	Heating
			SH	LH	Amount	Rate	Fresh Air	Amount	Amount	Capacity	Capacity
	m ³	P	w	w	m ³ /h	L/h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	w	w
U.P.P. DECK											
GYM(104)	59.4	4	1563	200	475	8.0	238	475	0	5881	-3,819
TREATMENT RM(105)	8.8	1	378	50	112	12.7	56	37	75	1350	-756
HOSPITAL(106)	28.6	2	907	100	271	9.5	135	-54	325	3239	-2,058
AC RM(115)	213.3	6	1178	300	1280	6.0	640	0	0	1280	-6,389
PROV. STORE(117)	52.9	0	493	0	318	6.0	159	0	0	318	-1,983
FOAM&FIRE CONTROL RM(101)	52.9	0	493	0	265	5.0	133	0	0	265	-1,519
ENG.CHANGE RM(103)	24.2	0	322	0	185	8.0	97	0	185	1951	-1,237
CREW LAUNDRY(109)	37.8				0	10.0	0	0	378	-378	
DRY ROOM(108)	15.4				0	10.0	0	0	154	-154	
Sub-total	363	13	4518	650	2916		1457	459	1127	30028	-17579
FRESH AIR RADIO	0.5										
Total of Main A/C	2,076	129	53,492	6,450	19,694		9767	9317	6406	3,381	223,302
AHU Fresh Air Ratio	50%										-125,785

2.9 Diesel generator data

Engine model	6DE-18
Quantity of cylinders	6
Cylinder bore x Piston stroke	185 mm x 280 mm
Engine rated output	800 kW
Engine speed	900 min ⁻¹
Mean effective pressure	2.36 MPa
Mean piston speed	8.4 m/s
Maximum pressure	≤20 MPa
Overload capacity	110% for an hour every 12 hours
Lube oil consumption	0.8g/kWh (estimate at full load)
Fuel oil consumption *1)*2)	abt.194 g/kWh +5% with pumps(Tier II)

Generator capacity	937.5 kVA
Generator rated output	750 kW
Power factor	0.8 lagging
No. of poles	8
Voltage Phase Frequency	AC 450 V 3-phase 60 Hz
Insulation	Class F

Quantity of DG set	three(3) sets/ship
--------------------	--------------------

W05	4	Stop Valve	DN100	Shippard Supply
W04	2	Cooling Sea Water Pressure Switch	Danfoss KP2	Index Supply
W03	4	Cooling Sea Water Inlet / Outlet Pressure Gauge	0-10 Bar	Index Supply
W02	4	Cooling Sea Water Inlet / Outlet Thermometers	0-50 °C	Index Supply
W01	4	Cooling Sea Water Flexible Connection with ISO Counter Flanges	DN100	Index Supply
A10	2	Valve Panel of Air Handling Unit	-	Index Supply
A09	2	Fan Motor	ABB MOTOR	Index Supply
A08	2	Fan	KRUGER	Index Supply
A07	2	Cooling Coil	240 KW / Cu-4	Index Supply
A06	2	Heating Coil	160 KW	Index Supply
A05	4	Temperature Sensor(Return Air / Supply Air)	-	Index Supply
A04	2	Space Heater	40 W	Index Supply
A03	2	Supply Air Thermometers	Winters -60-50 °C	Index Supply
A02	2	Return Air Thermometers	Winters -60-50 °C	Index Supply
A01	2	Fresh Air Thermometers	Winters -60-50 °C	Index Supply
C28	3	Stop Valve	3-1/8"	Index Supply
C27	2	Suction Accumulator	3-1/8"	Index Supply
C26	4	Thermal Expansion Valve	AKV15-4	Index Supply
C25	4	Temperature Sensor	Danfoss MTB250 50mm	Index Supply
C24	4	Stop Valve	1-5/8"	Index Supply
C23	2	Sight Glass	Danfoss 3/8"	Index Supply
C22	2	Charging Valve	1/4"	Index Supply
C21	2	Filter Drier	1-5/8"	Index Supply
C20	3	Stop Valve	1-5/8"	Index Supply
C19	2	Air Purge	1/4"	Index Supply
C18	2	Safety Valve	Set Value : 27.5 bar	Index Supply
C17	2	Condenser	CR315	Index Supply
C16	2	Oil service valve	Bock	Index Supply
C15	2	Oil Separator	2-1/8"	Index Supply
C14	2	Flexible Connection for Refrigerant Suction Pipe	3-1/8"	Index Supply
C13	2	Flexible Connection for Refrigerant Liquid Pipe	1-5/8"	Index Supply
C12	4	Vibration Isolator	—	Index Supply
C11	2	Oil Pressure Switch	Danfoss	Index Supply
C10	2	Discharge Pressure Sensor	0-35 bar	Index Supply
C09	2	Suction Pressure Sensor	-1-15 bar	Index Supply
C08	2	High Pressure Gauge	0-35 bar; Oil Filled-In	Index Supply
C07	2	Low Pressure Gauge	-1-15 bar; Oil Filled-In	Index Supply
C06	2	Oil Pressure Gauge	-1-15 bar; Oil Filled-In	Index Supply
C05	2	Unload solenoid valve	Build-In BOCK / 75%	Index Supply
C04	2	Unload solenoid valve	Build-In BOCK / 50%	Index Supply
C03	2	Unload solenoid valve	Build-In BOCK / 25%	Index Supply
C02	2	Crankcase Heater	Build-In BOCK 200W	Index Supply
C01	2	Open Type Compressor	BOCK / F18-2735	Index Supply
TAG NO.	QTY	DESCRIPTION	TYPE/SIZE	REMARK



DATE: 06-2014
SCALE: 1:1

DESIGN: JH
CHECK: JH

Rev 1
AI

DESIGN
CHECK
APPROVED

✓ APPROVED

✓ APPROVED

TITLE: P&ID of Condensing Unit and Air Handling Unit

DATE: 06-2014

✓ APPROVED

SHEET: 2 OF 2

2. Perhitungan Beban Panas

A. Perhitungan Heat Transmission

Perhitungan Heat Transmission

Navigation Deck

H= 2.91

Wheel house (500)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ
Radio Space (B)	12.12	0.80	0.00	0.00	18.00	174.57
WC (B)	6.06	0.80	0.00	0.00	6.00	29.10
Stairway (B)	12.12	2.50	0.00	0.00	2.00	60.62
Chartspace (B)	12.12	0.80	0.00	0.00	18.00	174.60
Compass Deck (A)	14.16	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (D)	50.65	0.60	6.50	6.32	0.00	0.00
Outdoor (N)	17.85	0.60	6.50	0.33	0.00	0.00
Oudoor (I)	17.85	0.60	6.50	0.33	0.00	0.00
Total W =						438.89

Luasan
Jendela Kotak

$A_1 = \text{PXL}$

$A_1 = 0.57 \text{ m}^2$

ELLE.RM (505)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ
Stairway (D)	7.27	2.50	0.00	0.00	2.00	36.37
Battery Room (B)	4.85	0.80	0.00	0.00	18.00	69.84
Compas Deck (A)	0.83	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Chart Space (N)	4.85	0.80	0.00	0.00	18.00	69.84
Lobby (I)	4.85	0.80	0.00	0.00	18.00	69.84
Total W =						245.89

Luasan Jendela
(lingkaran)

$A_1 = \pi r^2$

$A_1 = 0.00 \text{ m}^2$

Pilot (506)						
Dinding	Av (m2)	kv	kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ
Radio Space (D)	2.42	0.80	0.00	0.00	18.00	34.92
Radio Loker (D)	6.06	0.80	0.00	0.00	18.00	87.30
Lobby (D)	4.85	0.80	0.00	0.00	18.00	69.84
Elle RM (D)	4.85	0.80	0.00	0.00	18.00	69.84
Battery Room (N)	9.70	0.80	0.00	0.00	18.00	139.68
Outdoor (I)	9.70	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (B)	15.76	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Compas Deck (A)	4.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						401.57

Luasan Jendela
(lingkaran)

$A_1 = \pi r^2$

$A_1 = 0.00 \text{ m}^2$

C DECK

H= 2.91

C/Eng's Day Room (401)						
Dinding	Av (m2)	kv	kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	11.58	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Outdoor (I)	17.64	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (H)	1.25	2.50	0.00	0.00	2.00	6.25
Alleyway (N)	3.64	2.50	0.00	0.00	2.00	18.19
Outdoor (A)	6.25	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						24.43

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

C/Eng's Bed Room (402)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	10.91	0.60	6.50	1.09	0.00	0.00
Alleyway (B)	8.35	2.50	0.00	0.00	2.00	41.76
Total W =						41.76

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Captain Day Room (403)						
Dinding	Av (m2)	kv	kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	14.67	0.60	6.50	1.09	0.00	0.00
Alleyway (B)	3.63	2.50	0.00	0.00	2.00	18.17
Total W =						18.17

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Captain Bed Room (404)						
Dinding	Av (m2)	kv	kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	9.82	0.60	6.50	1.09	0.00	0.00
Alleyway (B)	6.89	2.50		0.00	2.00	34.44
Total W =						34.44

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

C/ Office Day Room (405)						
Dinding	Av (m2)	kv	kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	11.58	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Outdoor (N)	17.64	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Alleyway (I)	3.64	2.50	0.00	0.00	2.00	18.19
Alleyway (H)	1.25	2.50	0.00	0.00	2.00	6.25
Outdoor (A)	6.25	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						24.43

C/ Office Bed Room (406)						
Dinding	Av (m2)	kv	kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (N)	10.36	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (I)	10.91	2.50	0.00	0.00	2.00	54.55
Outdoor (A)	3.33	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						54.55

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \quad m^2$$

2nd Eng Day Room (407)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (I)	14.67	0.60	6.50	1.09	0.00	0.00
Alleyway (N)	15.76	2.50	0.00	0.00	2.00	78.81
Outdoor (A)	5.42	0.60		0.00	0.00	0.00
Total W =						78.81

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \quad m^2$$

4th Eng (409)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (I)	12.80	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Outdoor (B)	10.91	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Alleyway (N)	8.49	2.50	0.00	0.00	2.00	42.43
Outdoor (A)	3.75	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						42.43

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \quad m^2$$

Linen LKR (414)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Loker (D)	6.06	0.80	0.00	0.00	18.00	87.30
C&P/D Trunk (D)	2.42	0.80	0.00	0.00	18.00	34.92
Alleyway (I)	12.12	2.50	0.00	0.00	2.00	60.62
Radio Loker (A)	0.50	0.80	0.00	0.00	18.00	7.20
Total W =						190.04

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00 \quad m^2$$

Drying Room (415)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
C&P/D Trunk (D)	3.63	0.80	0.00	0.00	18.00	52.34
Stairway (D)	2.42	2.50	0.00	0.00	2.00	12.12
Lobby and Radio Loker (A)	1.33	0.80	0.00	0.00	18.00	19.20
Total W =						83.66

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

3rd/ENG (417)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (B)	15.22	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (I)	13.34	2.50	0.00	0.00	2.00	66.69
Outdoor (A)	5.96	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (H)	2.71	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						66.69

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

2nd/OFF (418)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (B)	15.22	0.80	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (N)	13.34	2.50	0.00	0.00	2.00	66.69
Outdoor (A)	5.96	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (H)	2.71	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						66.69

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

2nd Eng Bed Room (408)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (I)	9.15	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (N)	9.70	2.50	0.00	0.00	2.00	48.50
Outdoor (A)	3.33	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						48.50

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

3rd Office (419)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

Alleyway (I)	12.12	2.50	0.00	0.00	2.00	60.62
Outdoor (N)	11.58	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Outdoor (A)	4.17	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						60.62

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Owner (420)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (I)	14.55	2.50	0.00	0.00	2.00	72.75
Outdoor (N)	14.00	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Outdoor (B)	3.75	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (A)	5.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						72.75

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Off Laundry (416)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Stairway (D)	8.49	2.50	0.00	0.00	2.00	42.44
Alleyway (N)	10.91	2.50	0.00	0.00	2.00	54.56
Battery Room (A)	0.83	0.80	0.00	0.00	18.00	12.00
Chart Space (A)	0.83	0.80	0.00	0.00	18.00	12.00
Lobby (A)	0.33	0.80	0.00	0.00	18.00	4.80
Total W =						125.80

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00 \text{ m}^2$$

Captain Pantry (413)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Stairway (I)	7.27	2.50	0.00	0.00	2.00	36.37
Alleyway (D)	6.06	2.50	0.00	0.00	2.00	30.31
Alleyway (N)	7.27	2.50	0.00	0.00	2.00	36.37
Chart Space (A)	1.25	0.80	0.00	0.00	18.00	18.00
Total W =						121.06

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00 \text{ m}^2$$

B DECK

$$H = 2.92$$

Foreman RM (301)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

Outdoor (D)	10.39	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00	$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$
Outdoor (I)	14.58	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	
Alleyway (B)	10.94	2.50	0.00	0.00	2.00	54.69	
Total W =						54.69	

Electrician (302)							Luasan Jendela (persegi) $A_1 = P \times L$ $A_1 = 0.55 \text{ m}^2$
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ	
Outdoor (D)	9.18	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00	
Alleyway (B)	10.94	2.50	0.00	0.00	2.00	54.69	
Total W =						54.69	

Pump Man (303)							Luasan Jendela (persegi) $A_1 = P \times L$ $A_1 = 0.55 \text{ m}^2$
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ	
Outdoor (D)	9.18	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00	
Alleyway (B)	10.94	2.50	0.00	0.00	2.00	54.69	
Total W =						54.69	

Pump Man (304)							Luasan Jendela (persegi) $A_1 = P \times L$ $A_1 = 0.55 \text{ m}^2$
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ	
Outdoor (D)	9.18	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00	
Alleyway (B)	10.94	2.50	0.00	0.00	2.00	54.69	
Total W =						54.69	

Bosun (305)							Luasan Jendela (persegi) $A_1 = P \times L$ $A_1 = 0.55 \text{ m}^2$
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ	
Outdoor (D)	9.18	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00	
Alleyway (B)	10.94	2.50	0.00	0.00	2.00	54.69	
Total W =						54.69	

Spare (306)							Luasan Jendela (persegi) $A_1 = P \times L$ $A_1 = 0.55 \text{ m}^2$
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ	
Outdoor (D)	10.39	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00	
Alleyway (B)	10.94	2.50	0.00	0.00	2.00	54.69	

Outdoor (N)	14.58	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =					54.69	

Oiler (307)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ
Alleyway (D)	10.94	2.50	0.00	0.00	2.00	54.69
Outdoor (I)	9.18	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (N)	9.72	2.50	0.00	0.00	2.00	48.61
Total W =					103.30	

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \quad m^2$$

Oiler (308)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ
Outdoor (I)	9.18	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (N)	9.72	2.50	0.00	0.00	2.00	48.61
Total W =					48.61	

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \quad m^2$$

Oiler (309)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ
Outdoor (I)	9.18	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (N)	9.72	2.50	0.00	0.00	2.00	48.61
Total W =					48.61	

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \quad m^2$$

Sailor (311)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ
Outdoor (I)	10.39	0.60	6.50	0.55	0.00	3.55
Alleyway (N)	10.94	2.50	0.00	0.00	2.00	54.69
Outdoor (A)	3.75	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Emergerncy Generator Room (H)	3.75	0.80	0.00	0.00	18.00	54.00
Total W =					112.24	

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \quad m^2$$

C/Cook (312)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ
Outdoor (I)	10.39	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \quad m^2$$

Alleyway (D)	2.43	2.50	0.00	0.00	2.00	12.15
Outdoor (B)	15.80	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (A)	4.87	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Emergency Generator Room (H)	4.87	0.80	0.00	0.00	18.00	70.20
					Total W =	82.35

Bonded Store (316)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (D)	7.29	2.50	0.00	0.00	2.00	36.46
Alleyway (N)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
Galley (H)	7.29	0.80	0.00	0.00	18.00	105.00
Stairway (I)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
					Total W =	226.52

Luasan Jendela (persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Praying RM (317)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (I)	18.23	2.50	0.00	0.00	2.00	91.14
Alleyway (B)	15.80	2.50	0.00	0.00	2.00	78.99
C&P/D Trunk (D)	6.08	0.80	0.00	0.00	18.00	87.50
Stairway (D)	3.65	2.50	0.00	0.00	2.00	18.23
Galley (H)	8.00	0.80	0.00	0.00	18.00	115.20
					Total W =	391.06

Luasan Jendela (persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Library & Lounge (318)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (N)	18.23	2.50	0.00	0.00	2.00	91.14
Alleyway (B)	15.80	2.50	0.00	0.00	2.00	78.99
Galley (H)	8.00	0.80	0.00	0.00	18.00	115.20
Stairway (D)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
					Total W =	327.86

Luasan Jendela (persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Filter (319)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (I)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
Alleyway (D)	12.15	2.50	0.00	0.00	2.00	60.76

Luasan Jendela (persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Outdoor (N)	7.96	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Stairway (D)	13.67	2.50	0.00	0.00	2.00	68.36
Store & Gear Boat Loker (H)	1.67	0.80	0.00	0.00	18.00	24.00
Total W =						195.65

Q Master (320)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (I)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
Outdoor (N)	7.96	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Total W =						42.53

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Q Master (321)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (I)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
Outdoor (N)	7.96	0.60	6.50	0.55	0.00	9.00
Total W =						51.53

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Q Master (322)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (I)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
Outdoor (N)	7.96	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Total W =						42.53

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Boy (310)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (I)	9.18	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (N)	9.72	2.50	0.00	0.00	2.00	48.61
Emergency Generator (H)	2.08	0.80	0.00	0.00	18.00	30.00
Total W =						78.61

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

WC						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (I)	7.29	2.50	0.00	0.00	2.00	36.46

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Alleyway (D)	7.29	2.50	0.00	0.00	2.00	36.46
C&P/D Trunk (D)	7.29	0.80	0.00	0.00	18.00	105.00
Loker (D)	6.25	0.80	0.00	0.00	18.00	90.00
Total W =						267.91

A DECK

H = 2.92

Sailor (202)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	6.13	0.60	6.50	2.38	0.00	0.00
Alleyway (B)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
Total W =						42.53

Luasan Jendela
(lingkaran)

$$A_1 = \pi r^2$$

$$A_1 = 2.38 \text{ m}^2$$

Cargo Control Room (203)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	20.78	0.60	6.50	1.09	0.00	0.00
Alleyway (B)	21.87	2.50	0.00	0.00	2.00	109.37
Total W =						109.37

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Deck Office (204)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	7.96	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (B)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
Total W =						42.53

Luasan
Jendela
(Persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Sailor (201)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	6.13	0.60	6.50	2.38	0.00	0.00
Alleyway (B)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
Total W =						42.53

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 2.38 \text{ m}^2$$

Engine Office (205)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	9.17	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Alleyway (B)	9.72	2.50	0.00	0.00	2.00	48.61

Luasan
Jendela
(Persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Total W =	48.61
------------------	-------

Sailor (201)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	6.13	0.60	6.50	2.38	0.00	0.00
Alleyway (B)	8.51	2.50	0.00	0.00	2.00	42.53
Total W =						42.53

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 2.38 \text{ m}^2$$

Crew Mess & Recreation Room (210)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (D)	14.58	2.50	0.00	0.00	2.00	72.91
Cofferdam (B)	14.58	0.80	0.00	0.00	13.00	151.66
Outdoor (N)	25.09	0.60	6.50	1.64	0.00	0.00
Alleyway (A)	2.25	2.50	0.00	0.00	2.00	11.25
Deck Store (H)	5.42	0.80	0.00	0.00	18.00	78.00
Deck Workshop (H)	3.25	0.80	0.00	0.00	18.00	46.80
Total W =						360.62

Luasan
Jendela
(Persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Off's Mess Room and Smoking						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (D)	14.58	2.50	0.00	0.00	2.00	72.91
Outdoor (N)	32.26	0.60	6.50	0.55	0.00	0.00
Outdoor (B)	15.80	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Alleyway (A)	3.75	2.50	0.00	0.00	2.00	18.75
Total W =						91.66

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55 \text{ m}^2$$

Deck Change Room (206)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	7.29	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (N)	14.58	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Alleyway (B)	7.29	2.50	0.00	0.00	2.00	36.46
Total W =						36.46

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00 \text{ m}^2$$

WC						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

Alleyway (D)	7.29	2.50	0.00	0.00	2.00	36.46	$A_1 = 0.00 \text{ m}^2$
Alleyway (I)	7.29	2.50	0.00	0.00	2.00	36.46	
C&P/D Trunk (N)	7.29	0.80	0.00	0.00	18.00	105.00	
Total W =						177.91	

UPPER DECK

H = 3.75

Gym (104)							Luasan Jendela (lingkaran)
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ	
Outdoor (D)	25.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	$A_1 = \pi r^2$
Alleyway (B)	25.00	2.50	0.00	0.00	2.00	125.00	$A_1 = 0.00$
Engine Room (H)	8.00	0.80	0.00	0.00	18.00	115.20	
Total W =						240.19	

Treatment RM (105)							Luasan Jendela (lingkaran)
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ	
Outdoor (D)	4.76	0.60	6.50	1.49	0.00	0.00	$A_1 = \pi r^2$
Wastafel (B)	10.94	0.80	0.00	0.00	6.00	52.50	$A_1 = 0.75 \text{ m}^2$
MDO Service & Settlink tank (H)	6.87	0.80	0.00	0.00	13.00	71.50	
Total W =						124.00	

Hospital (106)							Luasan Jendela (lingkaran)
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ	
Outdoor (D)	14.06	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	$A_1 = \pi r^2$
Outdoor (N)	14.88	0.60	6.50	0.75	0.00	0.00	$A_1 = 0.75 \text{ m}^2$
Lobby (B)	14.06	0.80	0.00	0.00	18.00	202.49	
MDO Store Tank (H)	15.62	0.80	0.00	0.00	13.00	162.49	
Total W =						364.99	

AC RM (115)							Luasan Jendela (persegi)
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ	
Alleyway (D)	7.81	2.50	0.00	0.00	2.00	39.06	$A_1 = P \times L$
C&P/D Trunk (D)	10.94	0.80	0.00	0.00	18.00	157.49	$A_1 = 0.00 \text{ m}^2$
Stairway (D)	14.06	2.50	0.00	0.00	2.00	70.31	
Lobby (D)	9.37	0.80	0.00	0.00	18.00	135.00	
Galley (A)	22.92	0.80	0.00	0.00	18.00	329.99	
Engine Room (H)	22.92	0.80	0.00	0.00	18.00	329.99	

C&P/D Trunk (N)	10.94	0.80	0.00	0.00	18.00	157.49
Lobby (D)	21.87	0.80	0.00	0.00	18.00	314.99
Deck Store (I)	15.62	0.80	0.00	0.00	18.00	224.99
Deck Workshop (I)	9.37	0.80	0.00	0.00	18.00	135.00
Total W =						1894.32

Prov. Store (117)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (N)	17.19	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Lobby (D)	4.69	0.80	0.00	0.00	18.00	67.50
Paint Store (B)	10.94	0.80	0.00	0.00	13.00	113.75
Workshop (H)	5.50	0.80	0.00	0.00	18.00	79.20
Total W =						260.44

Luasan
Jendela
(Persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00 \text{ m}^2$$

Foam and Fire Control RM (101)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	20.31	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Alleyway (B)	20.31	2.50	0.00	0.00	2.00	101.56
Outdoor (I)	18.75	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
E/R ent (N)	18.75	2.50	0.00	0.00	2.00	93.75
HFO settling & Service Tank (H)	6.50	0.80	0.00	0.00	43.00	223.60
Total W =						418.90

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00 \text{ m}^2$$

Eng. Change RM (103)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Outdoor (D)	9.37	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
E/R ent (N)	18.75	2.50	0.00	0.00	2.00	93.75
Alleyway (B)	9.37	2.50	0.00	0.00	2.00	46.87
Engine Room (H)	12.50	0.80	0.00	0.00	18.00	179.99
Total W =						320.61

Luasan
Jendela
(Persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00 \text{ m}^2$$

Crew Laundry (109)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	Δ T	φ
Alleyway (D)	14.06	2.50	0.00	0.00	2.00	70.31
Deck Workshop (B)	14.06	0.80	0.00	0.00	18.00	202.49
LO Tank (H)	20.31	0.80	0.00	0.00	18.00	292.49

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00$$

Engine Room (H)	3.33	0.80	0.00	0.00	18.00	48.00
					Total W =	613.29

Dry Room (108)						
Dinding	Av (m2)	kv	Kg	Ag (m2)	ΔT	ϕ
Alleyway (D)	4.69	2.50	0.00	0.00	2.00	23.44
Outdoor (I)	18.75	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Deck Workshop (B)	4.69	0.80	0.00	0.00	18.00	67.50
LO tank (H)	1.50	0.80	0.00	0.00	18.00	21.60
Engine Room (H)	1.00	0.80	0.00	0.00	18.00	14.40
					Total W =	126.93

Luasan
Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00$$

TOTAL HEAT TRANSMISSION						
Upper Deck	4363.69		W	C Deck	1154.83	W
A Deck	994.77		W	Navigation Deck	1086.35	W
B Deck	2347.43		W	TOTAL =	9947.07	W
Jadi total heat transmission pada kapal ini ialah sebesar 9947.07 W atau 9.947 kW						

B. Perhitungan Solar Heat Gain

Perhitungan Solar Heat Gain

Navigation Deck

Wheel house (500)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔT	ϕ_s
Radio Space (B)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
WC (B)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Stairway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Chartspace (B)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Compass Deck (A)	14.16	0.60	0.00	0.00	12.00	101.95
Outdoor (D)	50.65	0.60	6.32	350.00	16.00	2699.99
Outdoor (N)	17.85	0.60	0.33	350.00	16.00	288.06
Outdoor (I)	17.85	0.60	0.33	350.00	16.00	288.06
					Total W =	3378.07

luas jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.57$$

ELDERM (505)

luas jendela

Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔT	φs	$A_1 =$	$P \times L$
Outdoor (D)	14.67	0.60	1.09	350.00	16.00	523.46	$A_1 =$	0.55
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00		
Total W =						523.46		

Wheel house (500)							Luas an Jendela	
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ T	φs	A1 =	P x L
Outdoor (D)	9.82	0.60	1.09	350.00	16.00	476.89	A1 =	0.55
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00		
					Total W =	476.89		

Wheel house (500)							Luas an Jendela	P x L	
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ T	φs			A ₁ =
Outdoor (D)	11.58	0.60	0.55	350.00	16.00	302.46			A ₁ =
Outdoor (N)	17.64	0.60	0.55	350.00	16.00	360.66			
Alleyway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00			
Alleyway (H)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00			
Outdoor (A)	6.25	0.60	0.00	0.00	12.00	45.00			
					Total W =	708.13			

C/ Office Bed Room (406)							Luasan Jendela	
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ T	φs	A ₁ =	P x L
Outdoor (N)	10.36	0.60	0.55	350.00	16.00	290.80	A ₁ =	0.55
Alleyway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00		
Outdoor (A)	3.33	0.60	0.00	0.00	12.00	24.00		
					Total W =	314.80		

2nd Eng Day Room (407)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ T	φs	A ₁ = P x L
Outdoor (I)	14.67	0.60	1.09	350.00	16.00	523.45	A ₁ = 0.55
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Outdoor (A)	5.42	0.60	0.00	0.00	12.00	39.00	
					Total W =	562.45	

4th Eng (409)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔT	ϕs
Outdoor (I)	12.80	0.60	0.55	350. 00	16.00	314.24
Outdoor (B)	10.91	0.60	0.00	0.00	12.00	78.57
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (A)	3.75	0.60	0.00	0.00	12.00	27.00
Total W =						419.81

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Linen LKR (414)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔT	ϕs
Loker (D)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
C&P/D Trunk (D)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Alleyway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Radio Loker (A)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						0.00

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Drying Room (415)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔT	ϕs
C&P/D Trunk (D)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Stairway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Lobby and Radio Loker (A)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						0.00

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

3rd/ENG (417)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔT	ϕs
Outdoor (B)	15.22	0.60	0.55	350. 00	16.00	337.38
Alleyway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (A)	5.96	0.60	0.00	0.00	12.00	42.90
Outdoor (H)	2.71	0.60	0.00	0.00	12.00	19.50
Total W =						399.78

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

2nd/OFF (418)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔT	ϕs
Outdoor (B)	15.22	0.80	0.55	350. 00	16.00	386.07
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (A)	5.96	0.60	0.00	0.00	12.00	42.90
Outdoor (H)	2.71	0.60	0.00	0.00	12.00	19.50

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Total W =	448.47
------------------	--------

2nd Eng Bed Room (408)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ T	φs	$A_1 = P \times L$
Outdoor (I)	9.15	0.60	0.55	350. 00	16.00	279.18	$A_1 = 0.55$
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Outdoor (A)	3.33	0.60	0.00	0.00	12.00	24.00	
Total W =						303.18	

3rd Office (419)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ T	φs	$A_1 = P \times L$
Alleyway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	$A_1 = 0.55$
Outdoor (N)	11.58	0.60	0.55	350. 00	16.00	302.46	
Outdoor (A)	4.17	0.60	0.00	0.00	12.00	30.00	
Total W =						332.46	

Owner (420)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ T	φs	$A_1 = P \times L$
Alleyway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	$A_1 = 0.55$
Outdoor (N)	14.00	0.60	0.55	350. 00	16.00	325.74	
Outdoor (B)	3.75	0.60	0.00	0.00	16.00	36.00	
Outdoor (A)	5.00	0.60	0.00	0.00	12.00	36.00	
Total W =						361.74	

Off Laundry (416)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ T	φs	$A_1 = P \times L$
Stairway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	$A_1 = 0.55$
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Battery Room (A)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Chart Space (A)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Lobby (A)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total W =						0.00	

Captain Pantry (413)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ T	φs	$A_1 = P \times L$
Stairway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	$A_1 = 0.55$
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Chart Space (A)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	

Total W =	0.00
------------------	------

B DECK

Foreman RM (301)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φs
Outdoor (D)	10.39	0.60	0.55	350. 00	16.00	291.06
Outdoor (I)	14.58	0.60	0.00	0.00	16.00	140.00
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						431.06

Luasan Jendela

 $A_1 = P \times L$ $A_1 = 0.55$

Electrician (302)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φs
Outdoor (D)	9.18	0.60	0.55	350. 00	16.00	279.40
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						279.40

Luasan Jendela

 $A_1 = P \times L$ $A_1 = 0.55$

Pump Man (303)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φs
Outdoor (D)	9.18	0.60	0.55	350. 00	16.00	279.40
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						279.40

Luasan Jendela

 $A_1 = P \times L$ $A_1 = 0.55$

Pump Man (304)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φs
Outdoor (D)	9.18	0.60	0.55	350. 00	16.00	279.40
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						279.40

Luasan Jendela

 $A_1 = P \times L$ $A_1 = 0.55$

Bosun (305)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φs
Outdoor (D)	9.18	0.60	0.55	350. 00	16.00	279.40
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						279.40

Luasan Jendela

 $A_1 = P \times L$ $A_1 = 0.55$

Spare (306)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φs

Luasan Jendela

 $A_1 = P \times L$

Outdoor (D)	10.39	0.60	0.55	350.00	16.00	291.06	$A_1 = 0.55$
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Outdoor (N)	14.58	0.60	0.00	0.00	16.00	140.00	
Total W =						431.06	

Oiler (307)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ_s	$A_1 = P \times L$
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	$A_1 = 0.55$
Outdoor (I)	9.18	0.60	0.55	350.00	16.00	279.40	
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total W =						279.40	

Oiler (308)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ_s	$A_1 = P \times L$
Outdoor (I)	9.18	0.60	0.55	350.00	16.00	279.40	$A_1 = 0.55$
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total W =						279.40	

Oiler (309)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ_s	$A_1 = P \times L$
Outdoor (I)	9.18	0.60	0.55	350.00	16.00	279.40	$A_1 = 0.55$
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total W =						279.40	

Sailor (311)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ_s	$A_1 = P \times L$
Outdoor (I)	10.39	0.60	0.55	350.00	16.00	291.06	$A_1 = 0.55$
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Outdoor (A)	3.75	0.60	0.00	0.00	12.00	27.00	
Emergency Generator Room (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total W =						318.06	

C/Cook (312)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ_s	$A_1 = P \times L$
Outdoor (I)	10.39	0.60	0.55	350.00	16.00	291.06	$A_1 = 0.55$
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Outdoor (B)	15.80	0.60	0.00	0.00	16.00	151.66	

Outdoor (A)	4.87	0.60	0.00	0.00	12.00	35.10
Emergency Generator Room (H)	4.87	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						477.82

Bonded Store (316)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Galley (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Stairway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						0.00

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Praying RM (317)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Alleyway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
C&P/D Trunk (D)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Stairway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Galley (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						0.00

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Library & Lounge (318)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Alleyway (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Galley (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Stairway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						0.00

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Filter (319)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Alleyway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (N)	7.96	0.60	0.55	350.00	16.00	267.73
Stairway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Store & Gear Boat Loker (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						267.73

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Q Master (320)						
Dinding	Av	k	Ag	Gs	Δ Tr	ϕ s

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

Cargo Control Room (203)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Outdoor (D)	20.78	0.60	1.09	350. 00	16.00	582.53
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						582.53

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Deck Office (204)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Outdoor (D)	7.96	0.60	0.55	350. 00	16.00	267.93
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						267.93

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Sailor (201)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Outdoor (D)	6.13	0.60	2.38	350. 00	16.00	891.98
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						891.98

Luasan Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 2.38$$

Engine Office (205)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Outdoor (D)	9.17	0.60	0.55	350. 00	16.00	279.60
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						279.60

Luasan Jendela
(Persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Sailor (201)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Outdoor (D)	6.13	0.60	2.38	350. 00	16.00	891.98
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						891.98

Luasan Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 2.38$$

Crew Mess & Recreation Room (210)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Cofferdam (B)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (N)	25.09	0.60	1.64	350.	16.00	815.47

Luasan Jendela
(Persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

				00		
Alleyway (A)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Deck Store (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Deck Workshop (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =					815.47	

Off's Mess Room and Smoking						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φ s
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Outdoor (N)	32.26	0.60	0.55	350.00	16.00	501.26
Outdoor (B)	0.00	0.60	0.00	0.00	16.00	0.00
Alleyway (A)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =					501.26	

Luasan Jendela
(persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.55$$

Deck Change Room (206)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φ s
Outdoor (D)	7.29	0.60	0.00	0.00	16.00	70.00
Outdoor (N)	14.58	0.60	0.00	0.00	16.00	140.00
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =					209.99	

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00$$

WC						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φ s
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Alleyway (I)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
C&P/D Trunk (N)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =					0.00	

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00$$

UPPER DECK

Gym (104)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φ s
Outdoor (D)	25.00	0.60	0.00	0.00	16.00	239.99
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Engine Room (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =					239.99	

Luasan Jendela
(lingkaran)

$$A_1 = \pi r^2$$

$$A_1 = 0.00$$

Treatment RM (105)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	φ s

Luasan Jendela
(lingkaran)

$$A_1 = \pi r^2$$

Outdoor (D)	4.76	0.60	1.49	350.00	16.00	567.28
Wastafel (B)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
MDO Service & Settlink tank (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						567.28

$$A_1 = 0.75$$

Hospital (106)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Outdoor (D)	14.06	0.60	0.00	0.00	16.00	135.00
Outdoor (N)	14.88	0.60	0.75	350.00	16.00	403.63
Lobby (B)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
MDO Store Tank (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						538.63

Luasan Jendela (lingkaran)

$$A_1 = \pi r^2$$

$$A_1 = 0.75$$

AC RM (115)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
C&P/D Trunk (D)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Stairway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Lobby (D)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Galley (A)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Engine Room (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
C&P/D Trunk (N)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Lobby (D)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Deck Store (I)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Deck Workshop (I)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						0.00

Luasan Jendela (persegi)

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00$$

Prov. Store (117)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s
Outdoor (N)	17.19	0.60	0.00	350.00	16.00	164.99
Lobby (D)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Paint Store (B)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Workshop (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Total W =						164.99

Luasan Jendela

$$A_1 = P \times L$$

$$A_1 = 0.00$$

Foam and Fire Control RM (101)						
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	Δ Tr	ϕ s

Luasan Jendela (persegi)

$$A_1 = P \times L$$

Outdoor (D)	20.31	0.60	0.00	350.00	16.00	194.99	$A_1 = 0.00$
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Outdoor (I)	18.75	0.60	0.00	350.00	16.00	179.99	
E/R ent (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
HFO settling & Service Tank (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total W =						374.99	

Eng. Change RM (103)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔTr	ϕs	$A_1 = P \times L$
Outdoor (D)	9.37	0.60	0.00	350.00	16.00	90.00	$A_1 = 0.00$
E/R ent (N)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Alleyway (B)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	
Engine Room (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total W =						90.00	

Crew Laundry (109)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔTr	ϕs	$A_1 = P \times L$
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	$A_1 = 0.00$
Deck Workshop (B)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
LO Tank (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Engine Room (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total W =						0.00	

Dry Room (108)							Luasan Jendela
Dinding	Av (m2)	k	Ag (m2)	Gs	ΔTr	ϕs	$A_1 = P \times L$
Alleyway (D)	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	$A_1 = 0.00$
Outdoor (I)	18.75	0.60	0.00	0.00	16.00	179.99	
Deck Workshop (B)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
LO tank (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Engine Room (H)	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total W =						179.99	

TOTAL SOLAR HEAT GAIN						
Upper Deck	2155.87	W	C Deck	6046.69	W	
A Deck	5332.74	W	Navigation Deck	3657.30	W	
B Deck	4964.10	W	TOTAL	22156.70	W	
Jadi total solar heat gain pada kapal ini ialah sebesar 22156.7 W atau 22.156 KW						

C. Perhitungan Person Heat

Perhitungan Person Heat

No	Rooms	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)	Person Inside	Emmision (SH)	Emmision (LH)
Navigation Deck						
1	Wheel House (500)	70	50	4	280	200
2	ELLE.RM (505)	70	50	0	0	0
3	Pilot (506)	70	50	1	70	50

C Deck						
1	Cn/Eng's Day RM (401)	70	50	4	280	200
2	Cn/Eng's Bed RM (402)	70	50	1	70	50
3	Captain Day RM (403)	70	50	4	280	200
5	Captain Bed RM (404)	70	50	1	70	50
6	C/Office Day RM (405)	70	50	4	280	200
7	C/Office Bed RM (406)	70	50	1	70	50
8	2nd Eng Day Room (407)	70	50	4	280	200
9	4th Eng (409)	70	50	1	70	50
10	Linen LKR (414)	70	50	0	0	0
11	Drying Room (415)	70	50	0	0	0
12	3rd/Eng (417)	70	50	1	70	50
13	2nd/Off (418)	70	50	1	70	50
14	2nd Eng Bed RM (408)	70	50	1	70	50
15	3rd Office (419)	70	50	1	70	50
16	Owner (420)	70	50	1	70	50
17	Off Laundry (416)	70	50	0	0	0
18	Captain Pantry (413)	70	50	0	0	0

B Deck						
1	Foreman RM (301)	70	50	1	70	50
2	Electrician (302)	70	50	1	70	50
3	Pumpman (303)	70	50	1	70	50
4	Pumpman (304)	70	50	1	70	50
5	Bosun (305)	70	50	1	70	50
6	Spare (306)	70	50	1	70	50
7	Oiler (307)	70	50	1	70	50
8	Oiler (308)	70	50	1	70	50
9	Oiler (309)	70	50	1	70	50
10	Sailor (311)	70	50	1	70	50
11	C/Cook (312)	70	50	1	70	50
12	Bonded Store (316)	70	50	0	0	0
13	Praying RM (317)	70	50	6	420	300

14	Library & Lounge RM (318)	70	50	6	420	300
15	Filter (319)	70	50	1	70	50
16	Q. Master (320)	70	50	1	70	50
17	Q. Master (321)	70	50	1	70	50
18	Q. Master (322)	70	50	1	70	50
19	Boy (31)	70	50	1	70	50
20	WC	70	50	0	0	0

A Deck						
1	Sailor (202)	70	50	1	70	50
2	Cargo Control RM (203)	70	50	1	70	50
3	Deck Office (204)	85	150	6	510	900
4	Sailor (201)	70	50	1	70	50
5	Engine Office (205)	85	150	6	510	900
6	Crew Mess & Recreation RM (210)	70	50	22	1540	1100
7	OFF'S Mess RM & Smoking	85	150	20	1700	3000
8	Deck Change Room (206)	70	50	1	70	50
9	WC	70	50	0	0	0

Upper Deck						
1	GYM (104)	85	150	4	340	600
2	Treatment RM (105)	70	50	1	70	50
3	Hospital (106)	70	50	2	140	100
4	AC RM (115)	70	50	6	420	300
5	Prov. Store (117)	70	50	0	0	0
6	Foam & Fire Control RM (101)	70	50	0	0	0
7	Eng. Change RM (103)	70	50	0	0	0
8	Crew Laundry (109)	70	50	0	0	0
9	Dry Room (108)	70	50	0	0	0

Total (Watt) =	9570	10050
-----------------------	-------------	--------------

TOTAL PERSON HEAT (SH)		
Upper Deck	970	W
A Deck	4540	W
B Deck	1960	W
C Deck	1750	W
Navigation Deck	350	W
TOTAL =	9570	W

Jadi total person heat pada kapal ini ialah sebesar 9570 W atau 9.57 kW

TOTAL PERSON HEAT (LH)		
Upper Deck	2020	W

A Deck	6100	W	Jadi total person heat pada kapal ini ialah sebesar 11020 W atau 11.02 kW
B Deck	1400	W	
C Deck	1250	W	
Navigation Deck	250	W	
TOTAL =		11020 W	

D. Perhitungan Lighting Heat

Perhitungan Lightening Heat

H= 2.91

No	Rooms	Area (m ²)	Without Daylight	Heat FL W/(m2)	Heat Gain (W)
Navigation Deck					
1	Wheel House (500)	96.19	0.00	20.00	1923.71
2	ELLE.RM (505)	2.61	0.00	10.00	26.12
3	Pilot (506)	7.87	0.00	8.00	62.96

H = 2.92

C Deck					
1	Cn/Eng's Day RM (401)	15.39	0.00	8.00	123.16
2	Cn/Eng's Bed RM (402)	9.57	0.00	8.00	76.53
3	Captain Day RM (403)	18.45	0.00	8.00	147.57
4	Captain Bed RM (404)	9.63	0.00	8.00	77.08
5	C/Office Day RM (405)	15.39	0.00	8.00	123.16
6	C/Office Bed RM (406)	7.27	0.00	8.00	58.15
7	2nd Eng Day Room (407)	12.89	0.00	8.00	103.13
8	4th Eng (409)	8.64	0.00	8.00	69.12
9	Linen LKR (414)	8.64	0.00	8.00	69.12
10	Drying Room (415)	6.48	0.00	8.00	51.84
11	3rd/Eng (417)	14.26	0.00	8.00	114.10
12	2nd/Off (418)	14.26	0.00	8.00	114.10
13	2nd Eng Bed RM (408)	6.41	0.00	8.00	51.29
14	3rd Office (419)	9.22	0.00	8.00	73.78
15	Owner (420)	9.74	0.00	8.00	77.90
16	Off Laundry (416)	15.12	0.00	10.00	151.20
17	Captain Pantry (413)	3.15	0.00	8.00	25.23

H = 2.92

B Deck					
1	Foreman RM (301)	9.15	0.00	8.00	73.24
2	Electrician (302)	9.22	0.00	8.00	73.78
3	Pumpman (303)	8.91	0.00	8.00	71.32
4	Pumpman (304)	8.64	0.00	8.00	69.12
5	Bosun (305)	9.15	0.00	8.00	73.24

6	Spare (306)	9.22	0.00	8.00	73.78
7	Oiler (307)	6.27	0.00	8.00	50.20
8	Oiler (308)	6.27	0.00	8.00	50.20
9	Oiler (309)	6.27	0.00	8.00	50.20
10	Sailor (311)	7.13	0.00	8.00	57.05
11	C/Cook (312)	9.63	0.00	8.00	77.08
12	Bonded Store (316)	3.87	0.00	8.00	30.99
13	Praying RM (317)	20.95	0.00	10.00	209.49
14	Library & Lounge RM (318)	20.95	0.00	10.00	209.49
15	Filter (319)	6.27	0.00	8.00	50.20
16	Q. Master (320)	6.27	0.00	8.00	50.20
17	Q. Master (321)	6.27	0.00	8.00	50.20
18	Q. Master (322)	6.27	0.00	8.00	50.20
19	Boy (31)	6.27	0.00	8.00	50.20
20	WC	0.00	0.00	10.00	0.00

H = 2.92

A Deck					
1	Sailor (202)	6.34	0.00	8.00	50.74
2	Cargo Control RM (203)	22.70	0.00	10.00	226.98
3	Deck Office (204)	8.78	0.00	10.00	87.77
4	Sailor (201)	6.34	0.00	8.00	50.74
5	Engine Office (205)	9.81	0.00	10.00	98.06
6	Crew Mess & Recreation RM (210)	34.22	0.00	10.00	342.18
7	OFF'S Mess RM & Smoking	33.84	0.00	10.00	338.41
8	Deck Change Room (206)	6.34	0.00	8.00	50.74
9	WC	1.20	0.00	10.00	12.00

H = 3.75

Upper Deck					
1	GYM (104)	15.84	0.00	20.00	316.81
2	Treatment RM (105)	2.35	0.00	8.00	18.77
3	Hospital (106)	7.63	0.00	10.00	76.27
4	AC RM (115)	56.88	0.00	10.00	568.81
5	Prov. Store (117)	14.11	0.00	8.00	112.86
6	Foam & Fire Control RM (101)	14.11	0.00	10.00	141.07
7	Eng. Change RM (103)	6.45	0.00	8.00	51.63
8	Crew Laundry (109)	10.08	0.00	10.00	100.80
9	Dry Room (108)	4.11	0.00	10.00	41.07

Total (Watt) =				7625.09
----------------	--	--	--	---------

TOTAL PERSON HEAT			
Upper Deck	1428.08	W	Jadi total person heat pada kapal ini ialah sebesar 7625.08 W atau
A Deck	1257.62	W	
B Deck	1420.14	W	

C Deck	1506.47	W	7.625 kW
Navigation Deck	2012.78	W	
TOTAL =	7625.09	W	

Sehingga diketahui total beban panas dari seluruh ruang akomodasi kapal ialah :

Total (SH) = T. Heat Transmission + T. Solar Heat Gain + T. Person Heat + T. Light Heat

= 49298.86 W
= 49.30 kW

Sehingga diketahui total beban panas dari seluruh ruang akomodasi kapal ialah :

Total (LH) = T. Heat Transmission + T. Solar Heat Gain + T. Person Heat + T. Light Heat

= 50748.86 W
= 50.75 kW

3. Pemilihan *Phase Change Material*

WAKTU PEMAKAIAN HYBIRD = 8 JAM					
Jenis PCM = Rubitherm RT-4					
Phase Change Temperature =	2-4	C			
Congealing Area=	4-2	C	F=	(L+CP*DELTA T)	
Heat Storage Capacity =	175	Kj/Kg	=	175.00	kj
Specific Heat Capacity =	2	Kj/Kg.K			
Qload =	240	kj/s	=	6,912,000	kj
Qload =		m x q laten			
6,912,000	=	m x		175	
m =	39,497	kg			
				7,801,200,97	
	44,883	l =	2		IDR
Jenis PCM = Rubitherm RT-10					

Phase Change Temperature =	4-10	C				
Congealing Area=	10-4	C	F=	(L+CP*DELTA T)		
Heat Storage Capacity =	160	Kj/Kg	=	170.00		kj
Specific Heat Capacity =	2	Kj/Kg.K				
Qload =	240	kj/s	=	6,912,000		kj
Qload =		m x q laten				
6,912,000	=	m x		169		
m =	40,948	kg =				
				8,087,737,97		
	46,532	l =		5		IDR
Jenis PCM = Rubitherm RT-15						
Phase Change Temperature =	10-17	C	Waktu pemakaian =	23		jam
Congealing Area=	17-10	C	F=	(L+CP*DELTA T)		
Heat Storage Capacity =	155	Kj/Kg	=	179		kj
Specific Heat Capacity =	2	Kj/Kg.K				
Qload =	240	kj/s	=	6,912,000		kj
Qload =		m x q laten				
6,912,000	=	m x		176.12		
m =	39,246	kg =				
				7,751,590,79		
	44,598	l =		1		IDR
Jenis PCM = Rubitherm RT-22 HC						
Phase Change Temperature =	20-23	C	Waktu pemakaian =	23		jam
Congealing Area=	23-20	C	F=	(L+CP*DELTA T)		

Heat Storage Capacity =	190	Kj/Kg	=	226	kJ
Specific Heat Capacity =	2	Kj/Kg.K			
Qload =	240	kJ/s	=	6,912,000	kJ
Qload	=	m x q laten			
6,912,000	=	m x		217.36	
m	=	31,800	kg =		
		41,842	l =	7,272,587,73	IDR
Jenis PCM = Rubitherm RT-25					
Phase Change Temperature =	22-26	C	Waktu pemakaian =	23	jam
Congealing Area=	26-22	C	F=	(L+CP*DELTA T)	
Heat Storage Capacity =	170	Kj/Kg	=	206	kJ
Specific Heat Capacity =	2	Kj/Kg.K			
Qload =	240	kJ/s	=	6,912,000	kJ
Qload	=	m x q laten			
6,912,000	=	m x		197.36	
m	=	35,022	kg =		
		39,798	l =	6,917,360,00	IDR
ANALISA TEKNIS					
Wcomp tanpa pcm					
Mref =	Pcomp/h2-h1				
	69.2 kW/ 432.8-				
	= 424.1				
	= 7.9540	kg/s			
Qe =	mref x (h1-h4) ; (kW)				
	7.9540 x (424.1-				

$$Q_e = \frac{263.4}{1,278} \text{ kW}$$

Wcomp dengan pcm RT - 4

$$Q_{pcm} = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) + (m \cdot L)}{39,497 \times 2 (308 - 278) + (39,497 \times 175)}$$

$$= \frac{9,281,829}{\text{kJ}}$$

Total =	7,803,429,00	
Volume	9	IDR
PCM	44,883	L
Price =	7,801,200,97	
Wcomp	2	IDR
=	1,518	kwh

Mendinginkan Ruang Sistem Existing

$$P = \frac{Q}{T}$$

$$\frac{1,278}{20,736,000} \text{ kJ}$$

$$t = \frac{16,223}{4.51} \text{ s}$$

$$h$$

Mendinginkan PCM dan Ruang

$$P = \frac{Q}{T}$$

$$\frac{1,278}{30,017,829} \text{ /t}$$

$$t = \frac{23,484}{6.52340} \text{ s}$$

$$\text{hour}$$

Daya PCM

$$P = \frac{Q}{T}$$

$$\frac{240}{\text{Kj/s}}$$

Mendinginkan ruangan bersama PCM

$$P = \frac{Q}{T}$$

$$1278+240 \quad 240/t$$

$$t = 240 \times 24 \times 3600 / (1278+240)$$

$$13,658 \quad s$$

$$3.79 \quad h$$

Perhitungan ulang daya kompresor Hybird

		Mref tanpa pcm =	7.95 4
Qe =	Qref - QPCM		
=	1278-240		
=	1,038		kW
Mref=	Qe/h1-h4		
	1038/424.1-		
=	263.4		
=	6.46056		kg/s
Wcomp (pcm discharging) =	Mref (h2-h1)	Waktu =	8 jam
	6.46056 (432.8-		
	424.1)		
=	56.20684505		kW
=	449.6547604	8 jam	kWh
=	615.64	10.95 jam	
Wcomp (pcm charging) =	Mref (h2-h1)	Waktu =	6.52 jam
	7.954 (432.1-		
	424.1)		
=	69.1998		kW
=	451.42	6.52 jam	kWh
=	902.84	13.0468 jam	
Total =	1,518.48		kWh

Wcomp dengan pcm RT - 10

$$Q_{pcm} = m.c.(t_2-t_1) + (m.L)$$

$$= 40,948 \times 2 (308-278) + (40,948 \times 160)$$

$$= 9,008,531 \text{ kj}$$

Total =	8,089,963,74	IDR
Volume		
=	46,532	L
PCM	8,087,737,97	
Price =	5	IDR
Wcomp		
=	1,517	kwh

Mendinginkan Ruangan Sistem Existing

$$P = Q/T$$

$$1,278 \quad 20,736,000 \quad \text{kj}$$

$$t = 16,223 \text{ s}$$

$$4.51 \text{ h}$$

Mendinginkan PCM dan Ruangan

$$P = Q/T$$

$$1,278 \quad 29,744,531 \quad /t$$

$$t = 23,270 \text{ s}$$

$$6.46401 \text{ hour}$$

Daya PCM

$$P = Q/T$$

$$240 \text{ Kj/s}$$

Mendinginkan ruangan bersama PCM

$$P = Q/T$$

$$1278+240 \quad 240/t$$

$$t = 240*24*3600/(1278+240)$$

$$13,658 \text{ s}$$

$$3.79 \text{ h}$$

Perhitungan ulang daya kompresor Hybird

$$Q_e = Q_{ref} - Q_{PCM}$$

$$M_{ref} \text{ tanpa}$$

$$7.95$$

$$\begin{aligned}
 &= 1278-240 \\
 &= 1,038 \text{ kW} \\
 M_{\text{ref}} &= Q_e / (h_1 - h_4) \\
 &= 1038 / (424.1 - 263.4) \\
 &= 6.46056 \text{ kg/s} \\
 W_{\text{comp (pcm discharging)}} &= M_{\text{ref}} (h_2 - h_1) \\
 &= 6.46056 (432.8 - 424.1) \\
 &= 56.20684505 \text{ kW} \\
 &= 449.6547604 \text{ kWh} \\
 &= 622.32 \text{ jam} \\
 W_{\text{comp (pcm charging)}} &= M_{\text{ref}} (h_2 - h_1) \\
 &= 7.954 (432.1 - 424.1) \\
 &= 69.1998 \text{ kW} \\
 &= 447.31 \text{ kWh} \\
 &= 894.62 \text{ jam} \\
 \text{Total} &= 1,516.94 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Wcomp dengan pcm RT - 15

$$Q_{pcm} = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) + (m \cdot L) = 39,246 \times 2 (308 - 278) + (39,246 \times 155) = 8,437,883 \text{ kJ}$$

Total =	7,753,811,83	IDR
Volume =	44,598	L
PCM Price =	7,751,590,79	IDR

			1
		W_{comp}	
		=	1,514 kwh
Mendinginkan Ruang Sistem Existing			
$P =$	Q/T		
1,278	20,736,000		kj
$t =$	16,223		s
	4.51		h
Mendinginkan PCM dan Ruang			
$P =$	Q/T		
1,278	29,173,883		/t
$t =$	22,824		s
	6.34		hour
Daya PCM			
$P =$	Q/T		
	240		Kj/s
Mendinginkan ruangan bersama PCM			
$P =$	Q/T		
1278+240	240/t		
$t =$	$240 \cdot 24 \cdot 3600 / (1278 + 240)$		
	13,658		s
	3.79		h
Perhitungan ulang daya kompresor Hybird			
$Q_e = Q_{ref} - Q_{PCM}$		M_{ref} tanpa	7.95
$= 1278 - 240$		$pcm =$	4
$= 1,038$			
			kW
$M_{ref} = Q_e / (h_1 - h_4)$			
$= 1038 / 424.1 -$			
$= 263.4$			
$= 6.46056$			
			kg/s

	4.51	h		
Mendinginkan PCM dan Ruangan				
$P =$	Q/T			
1,278	28,685,945	/t		
$t =$	22,442	s		
	6.23	hour		
Daya PCM				
$P =$	Q/T			
	240	Kj/s		
Mendinginkan ruangan bersama PCM				
$P =$	Q/T			
1278+240	240/t			
$t =$	$240 \cdot 24 \cdot 3600 / (1278 + 240)$			
	13,658	s		
	3.79	h		
Perhitungan ulang daya kompresor Hybird				
$Q_e = Q_{ref} - Q_{PCM}$			Mref tanpa pcm =	7.95
$= 1278 - 240$				4
$=$	1,038	kW		
$M_{ref} = Q_e / (h_1 - h_4)$				
$= 1038 / (424.1 - 263.4)$				
$=$	6.46056	kg/s		
$W_{comp} (pcm \text{ discharging}) = M_{ref} (h_2 - h_1)$			Waktu =	8 jam
$= 6.46056 (432.8 - 424.1)$				
$=$	56.20684505	kW		
$=$	449.6547604	kwh	8 jam	
$=$	648.1819506		11.5320	
$W_{comp} (pcm \text{ Mref } (h_2 - h_1))$			8 jam	
			Waktu =	jam

charging) = 6.23

$$= 7.954 (432.1 -$$

$$= 424.1)$$

$$= 69.1998 \text{ kW}$$

$$= 431.39 \text{ kWh} \quad 6.23 \text{ jam}$$

$$= 862.78 \quad 12.4679$$

$$= 2 \text{ jam}$$

$$\text{Total} = 1,510.96 \text{ kWh}$$

Wcomp dengan pcm RT - 25

$$Q_{pcm} = m.c.(t_2 - t_1) +$$

$$(m.L)$$

$$35,022 \times 2 (308 - 278) + (35,022 \times$$

$$= 170)$$

$$= 8,055,128 \text{ kJ}$$

$$\text{Total} = 6,919,577,87 \text{ IDR}$$

$$\text{Volume} = 39,798 \text{ L}$$

$$\text{PCM Price} = 6,917,360,00 \text{ IDR}$$

$$\text{Wcomp} = 1,512 \text{ kwh}$$

Mendinginkan Ruangan Sistem Existing

$$P = Q/T$$

$$1,278 \quad 20,736,000 \text{ kJ}$$

$$t = 16,223 \text{ s}$$

$$4.51 \text{ h}$$

Mendinginkan PCM dan Ruangan

$$P = Q/T$$

$$1,278 \quad 28,791,128 \text{ /t}$$

$$t = 22,525 \text{ s}$$

$$\text{hour}$$

6.26			
Daya PCM			
$P = Q/T$			
	240	Kj/s	
Mendinginkan ruangan bersama PCM			
$P = Q/T$			
1278+240	240/t		
$t = 240 \cdot 24 \cdot 3600 / (1278 + 240)$			
13,658	s		
3.79	h		
Perhitungan ulang daya kompresor Hybrid			
$Q_e = Q_{ref} - Q_{PCM}$		Mref tanpa pcm =	7.95
$= 1278 - 240$			4
$= 1,038$			
kW			
$M_{ref} = Q_e / (h_1 - h_4)$			
$1038 / 424.1 -$			
$= 263.4$			
$= 6.46056$			
kg/s			
$W_{comp} (pcm \text{ discharging}) = M_{ref} (h_2 - h_1)$		Waktu =	8 jam
$6.46056 (432.8 -$			
$= 424.1)$			
$= 56.20684505$			
kW			
$= 449.6547604$		8 jam	
kWh			
$= 645.61$		11.49 jam	
$W_{comp} (pcm \text{ charging}) = M_{ref} (h_2 - h_1)$		Waktu =	6.26 jam
$7.954 (432.1 -$			
$= 424.1)$			
$= 69.1998$			
kW			
$= 432.97$		6.26 jam	
kWh			
$= 865.94$		12.51 jam	

Total = 1,511.55 kWh

4. Spesifikasi Phase Change Material

Data sheet



RT4



RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

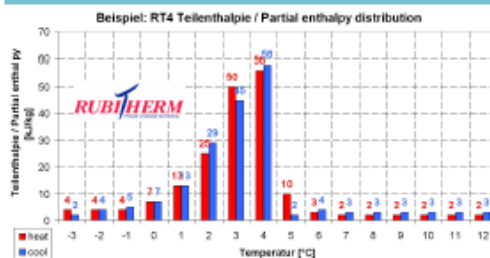
We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

Properties:

- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -4 °C and 100 °C

The most important data:

Melting area	Typical Values	
	2-4	[°C]
	main peak: 4	
Congeeing area	4-2	[°C]
	main peak: 4	
Heat storage capacity ± 7,5%	175	[kJ/kg]*
Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of -5 °C to 10°C.	49	[Wh/kg]*
Specific heat capacity	2	[kJ/kg·K]
Density solid at -15°C	0,88	[kg/l]
Density liquid at 15 °C	0,77	[kg/l]
Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(m·K)]
Volume expansion	12,5	[%]
Flash point	110	[°C]
Max. operation temperature	30	[°C]



Rubitherm Technologies GmbH
Sperenberger Str. 3a
D-12277 Berlin
Tel: +49 30 720004-62
Fax: +49 30 720004-99
E-Mail: info@rubitherm.com
Internet: www.rubitherm.com

The product information given is a non-binding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 31.05.2016

*Measured with 3-layer-calorimeter.

Data sheet



RT10



RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

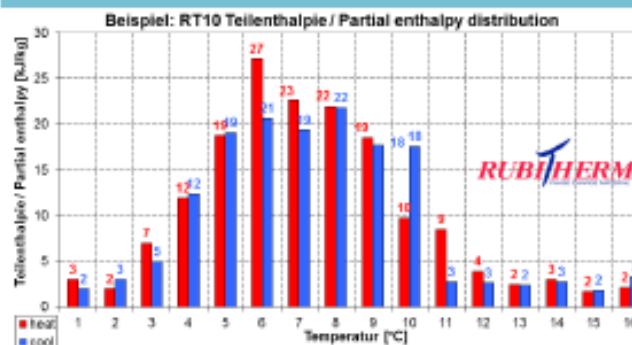
We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

Properties:

- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -4 °C and 100 °C

The most important data:

	Typical Values	
Melting area	4-10	[°C]
	main peak: 10	
Congeeing area	10-4	[°C]
	main peak: 10	
Heat storage capacity $\pm 7,5\%$	160	[kJ/kg]*
Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of 2 °C to 17°C.	45	[Wh/kg]*
Specific heat capacity	2	[kJ/kg·K]
Density solid	0,88	[kg/l]
at -15°C		
Density liquid	0,77	[kg/l]
at 15 °C		
Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(m·K)]
Volume expansion	12,5	[%]
Flash point	123	[°C]
Max. operation temperature	45	[°C]



Rubitherm Technologies GmbH
 Sperenberger Str. 3a
 D-12277 Berlin
 Tel: +49 30 720004-62
 Fax: +49 30 720004-99
 E-Mail: info@rubitherm.com
 Internet: www.rubitherm.com

The product information given is a non-binding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 31.05.2016

*Measured with 3-layer-calorimeter.

Data sheet



RT15



RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

Properties:

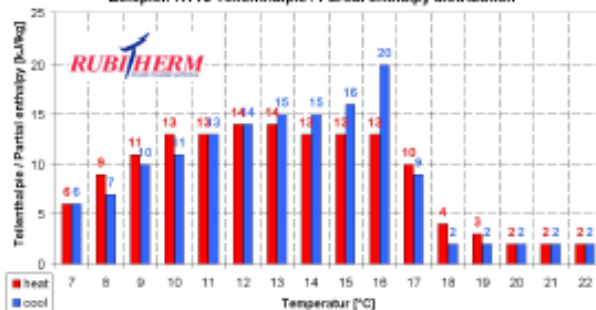
- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -4 °C and 100 °C

The most important data:

	Typical Values	
Melting area	10-17	[°C]
	main peak: 14	
Congeeing area	17-10	[°C]
	main peak: 16	
Heat storage capacity ± 7,5%	155	[kJ/kg]*
Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of 7 °C to 22°C.	43	[Wh/kg]*
Specific heat capacity	2	[kJ/kg·K]
Density solid at -15°C	0,88	[kg/l]
Density liquid at 20 °C	0,77	[kg/l]
Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(m·K)]
Volume expansion	12,5	[%]
Flash point	130	[°C]
Max. operation temperature	50	[°C]



Beispiel: RT15 Teilenthalpie / Partial enthalpy distribution



*Measured with 3-layer-calorimeter.

Rubitherm Technologies GmbH
Sperenberger Str. 5a
D-12277 Berlin
Tel: +49 30 720004-62
Fax: +49 30 720004-99
E-Mail: info@rubitherm.com
Internet: www.rubitherm.com

The product information given is a non-binding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 31.05.2016

Data sheet



RT22HC



RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

Properties:

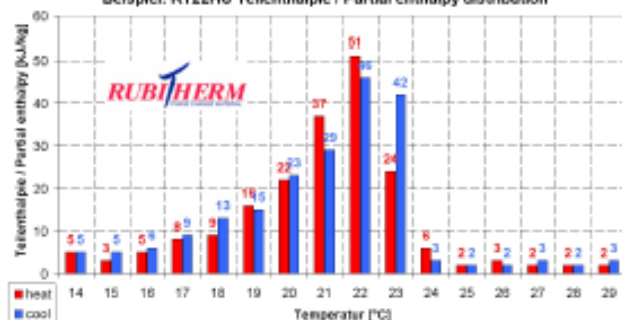
- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -4 °C and 100 °C

The most important data:

	Typical Values	
Melting area	20-23	[°C]
	main peak: 22	
Congeeing area	23-20	[°C]
	main peak: 22	
Heat storage capacity $\pm 7,5\%$	190	[kJ/kg]*
Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of 14°C to 29°C.	53	[Wh/kg]*
Specific heat capacity	2	[kJ/kg·K]
Density solid at 20 °C	0,76	[kg/l]
Density liquid at 50 °C	0,7	[kg/l]
Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(m·K)]
Volume expansion	12,5	[%]
Flash point	>150	[°C]
Max. operation temperature	50	[°C]



Beispiel: RT22HC Teilenthalpie / Partial enthalpy distribution



*Measured with 3-layer-calorimeter.

Rubitherm Technologies GmbH
Sperenberger Str. 3a
D-12277 Berlin
Tel: +49 30 720004-62
Fax: +49 30 720004-99
E-Mail: info@rubitherm.com
Internet: www.rubitherm.com

The product information given is a non-binding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 29.06.2016

Data sheet



RT25



RUBITHERM® RT is a pure PCM, this heat storage material utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature. The RUBITHERM® phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low differences in operating temperature are applicable.

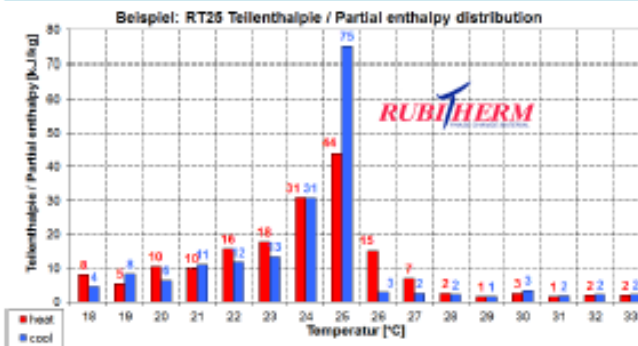
We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

Properties:

- high thermal energy storage capacity
- heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- no supercooling effect, chemically inert
- long life product, with stable performance through the phase change cycles
- melting temperature range between -4 °C and 100 °C

The most important data:

	Typical Values	
Melting area	22-26	[°C]
	main peak: 25	
Congeeing area	26-22	[°C]
	main peak: 25	
Heat storage capacity $\pm 7,5\%$	170	[kJ/kg]*
Combination of latent and sensible heat in a temperatur range of 16°C to 31°C.	48	[Wh/kg]*
Specific heat capacity	2	[kJ/kg·K]
Density solid at 15 °C	0,88	[kg/l]
Density liquid at 40 °C	0,76	[kg/l]
Heat conductivity (both phases)	0,2	[W/(m·K)]
Volume expansion	14	[%]
Flash point	143	[°C]
Max. operation temperature	55	[°C]



*Measured with 3-layer-calorimeter.

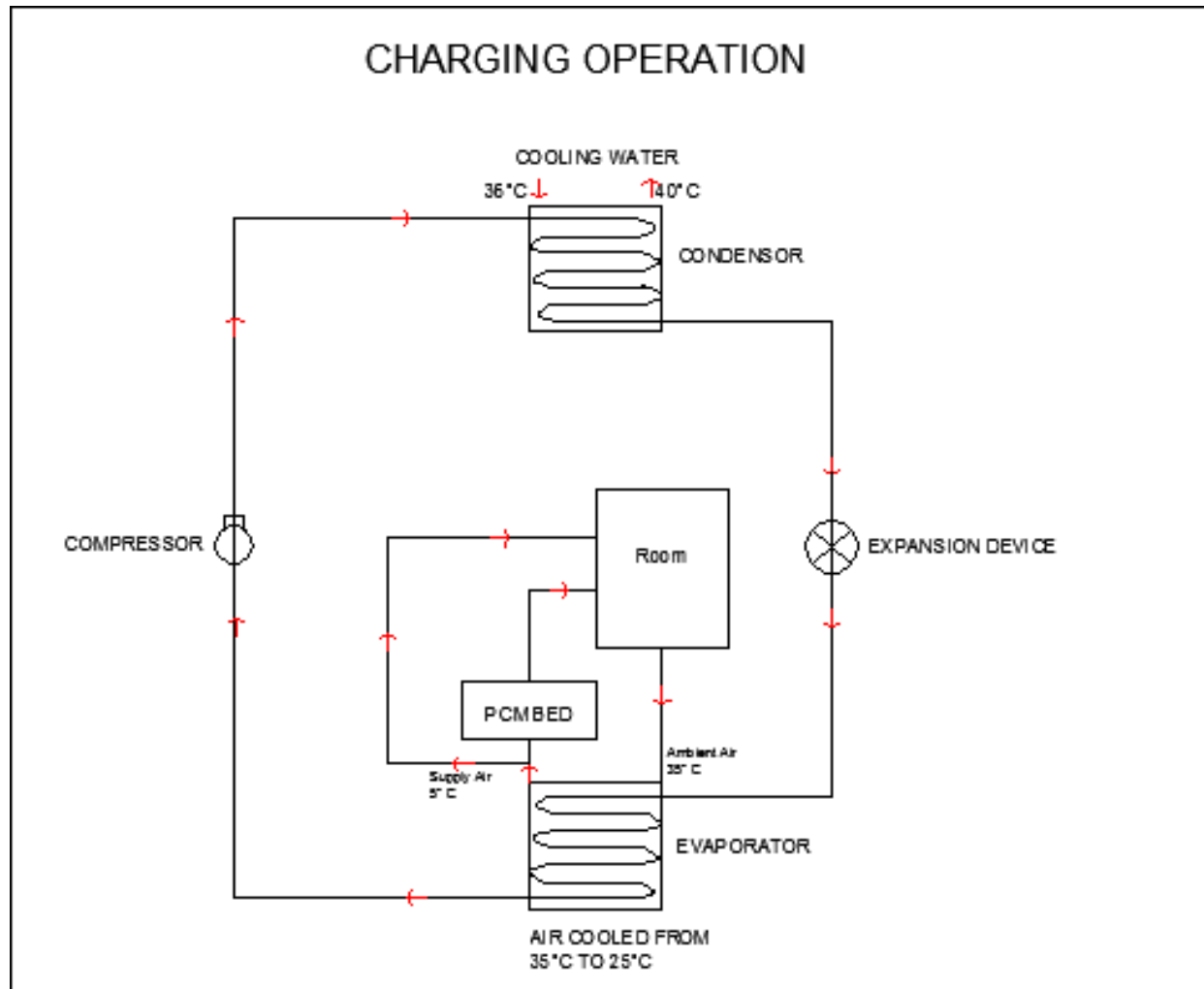
Rubitherm Technologies GmbH
Sperenberger Str. 3a
D-12277 Berlin
Tel: +49 30 720004-62
Fax: +49 30 720004-99
E-Mail: info@rubitherm.com
Internet: www.rubitherm.com

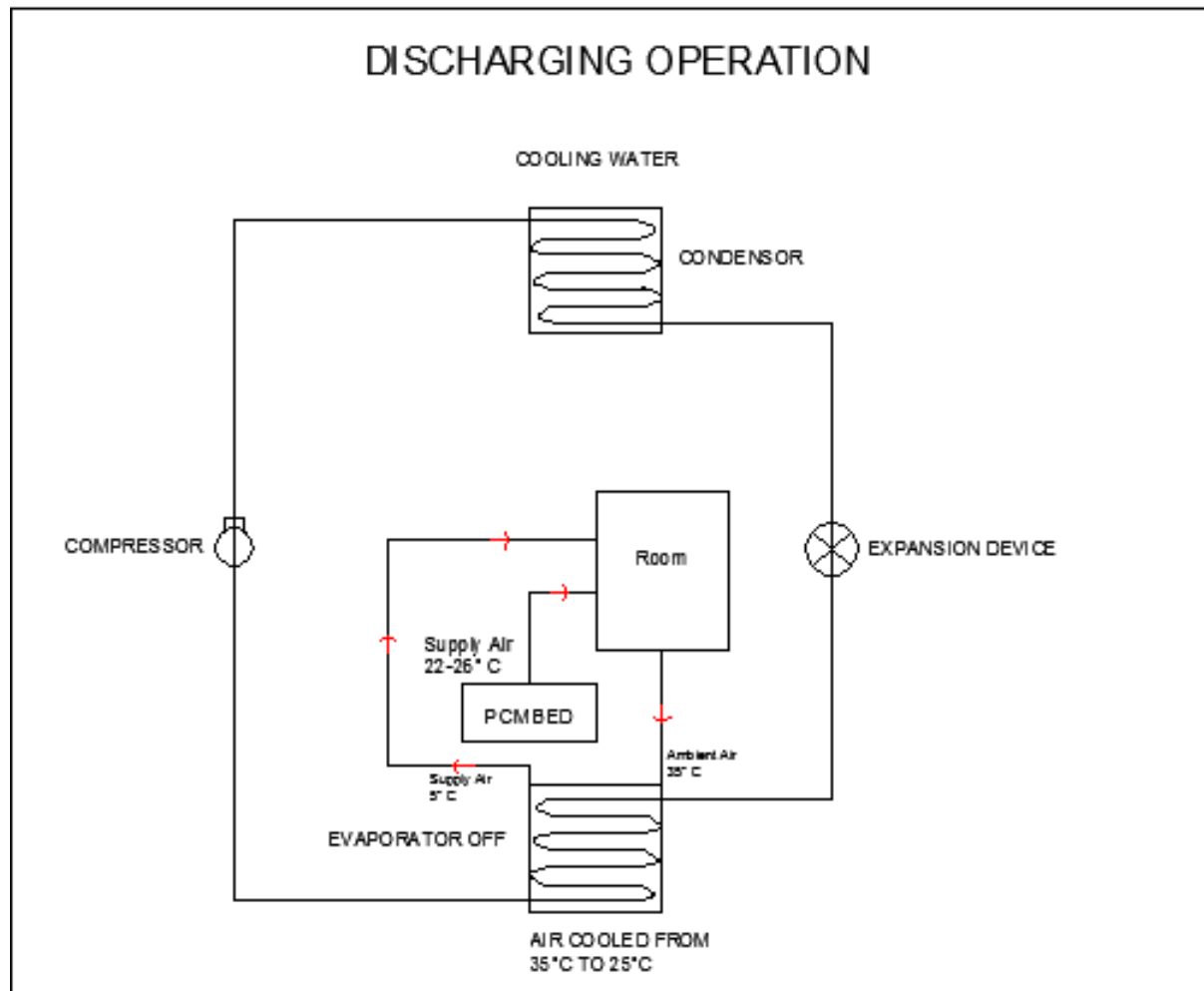
The product information given is a non-binding planning aid, subject to technical changes without notice. Version: 01.03.2016

5. Summary Pemilihan Phase Change Material

WAKT U PCM	Jenis PCM	Volume	KWH	KWH TANPA PCM	Biaya PCM	Biaya Konsumsi Listrik	Total Biaya (Konsumsi Listrik + PCM)	Feasibilit as	Urut Total Biaya
8 JAM	RT - 4	44,833	1,518	1,661	7,801,200,972	2,228,036	7,803,429,009	Feasible	6,919,577,875
	RT - 10	46,532	1,517	1,661	8,087,737,975	2,225,772	8,089,963,747	Feasible	7,274,804,738
	RT - 15	44,598	1,514	1,661	7,751,590,791	2,221,044	7,753,811,835	Feasible	7,753,811,835
	RT - 22 HC	39,798	1,511	1,661	7,272,587,738	2,217,000	7,274,804,738	Feasible	7,803,429,009
	RT - 25	39,798	1,512	1,661	6,917,360,003	2,217,872	6,919,577,875	Feasible	8,089,963,747

6. Keyplan Sistem Pendinginan Udara Hybird





BIODATA PENULIS



Penulis bernama Christopher Jonatan Butar Butar, merupakan putra nomor 3 dari 3 bersaudara. Ayah dari penulis bernama Azir Butar Butar dan Ibu dari penulis bernama Rosmauli Sitompul. Lahir pada tanggal 25 Desember 1995, di Kotamadya Jakarta Utara, DKI Jakarta. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal dasar di SD Marsudirini Jakarta, jenjang menengah pertama di SMP Negeri 30 Jakarta, jenjang menengah atas di SMA Negeri 68 Jakarta, dan melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Program Reguler, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di bidang *Marine Fluid Machinery and System* (MMS). Penulis pernah menjalankan *on the job training* di beberapa perusahaan yaitu PT. Anggrek Hitam Shipyard, Batam dan PT. Pertamina, Jakarta. Selain aktivitas akademik, penulis berpengalaman dan aktif tergabung dalam beberapa aktivitas organisasi. Penulis pernah bergabung dalam Badan Eksekutif Mahasiswa ITS sebagai staf Kebijakan Publik dan Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan sebagai staf Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa pada tahun 2015. Selain itu, penulis juga menjadi panitia Marine Icon di divisi Pubdekdok serta National Economic Symposium di divisi acara pada tahun 2015. Pada tahun 2016 penulis mengikuti kepanitiaan Marine Icon di divisi public relation dan divisi acara di tahun 2016. Penulis juga mengabdikan kepada HIMASISKAL FTK ITS sebagai Direktur Utama Gardapana “Kajian Strategis” pada tahun 2016. Penulis mengikuti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Pra Dasar, Tingkat Dasar, serta Pelatihan Pemandu. Penulis juga menjadi Pemandu LKMM Pra TD dan LKMM TD. Penulis juga pernah menjadi tim pemenang Presiden BEM ITS di Pemilu 2018 pada divisi konseptor. Penulis dapat dihubungi melalui christopherjonatan18@gmail.com atau chris_jonatan@yahoo.co.id.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”